



Pedro Filipe Cristovinho Fonseca

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

Influência de incêndios florestais na qualidade do ar: implementação de uma metodologia de avaliação

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia de Sistemas
Ambientais

Orientador: Professor Doutor Francisco Manuel Freire
Cardoso Ferreira, Professor Associado, FCT-NOVA

Coorientadora: Mestre Joana Vasconcelos Monjardino,
FCT-NOVA

Júri:

Presidente: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho,
Professor Auxiliar, FCT-NOVA

Arguente: Professora Doutora Maria Teresa Calvão Rodrigues, Professora
Auxiliar, FCT-NOVA

Vogal: Professor Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira, Professor
Associado, FCT-NOVA



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março, 2018

Influência de incêndios florestais na qualidade do ar: implementação de uma metodologia de avaliação

Copyright © Pedro Filipe Cristovinho Fonseca, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi possível graças ao apoio de diversas pessoas, às quais quero deixar os meus mais sinceros e humildes agradecimentos.

Primeiramente, ao Professor Francisco Ferreira, por ter aceite ser o meu orientador nesta aventura, por me ter sugerido um tema bastante aliciante e por me dar a motivação que eu necessitava nos momentos mais inesperados.

À minha coorientadora e mentora, Joana Monjardino. Um grande obrigado por tudo o que me ensinaste, por teres sido incansável no apoio e análise desta dissertação, pela disponibilidade e motivação. Um agradecimento especial aos investigadores de qualidade do ar do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Paulo Pereira, Sofia Teixeira, Luísa Mendes e Hugo Tente. Um grande obrigado pelo vosso apoio e companheirismo. Um grande obrigado a todos vocês pelas gargalhadas e por me fornecerem o combustível necessário nesta fase importante do meu percurso académico.

Um grande obrigado ao Hugo, Moreno, Diogo, Telmo, Paulo, Filipa e Beatriz. Vocês são a espinha dorsal da minha pessoa. Sem o vosso apoio, carinho e motivação, todo este trabalho teria tido um peso colossal.

Por fim, um obrigado muito especial a minha mãe, irmão e irmã. Obrigado por toda a compreensão e apoio que me deram ao longo desta fase da minha vida e por serem os meus pilares nos meus momentos de fraqueza.

“Nothing in this world can take the place of persistence. Talent will not; nothing is more common than unsuccessful men with talent. Genius will not; unrewarded genius is almost a proverb. Education will not; the world is full of educated derelicts. Persistence and determination alone are omnipotent. The slogan Press On! has solved and always will solve the problems of the human race.”

— Calvin Coolidge

Resumo

Os incêndios florestais são predominantemente de origem antropogénica, podendo ser controlados ou prevenidos através de ações apropriadas. Em Portugal, a ocorrência de incêndios florestais é sazonal, tipicamente começando no mês de junho e terminando em setembro. Contudo, devido aos efeitos das alterações climáticas, nos últimos anos tem-se verificado um alargamento desse período, começando cada vez mais cedo e terminando no final do mês de outubro, levando a uma maior quantidade de incêndios por ano e áreas ardidas com maiores magnitudes.

Estas ocorrências possuem um efeito significativo na qualidade do ar a nível local e regional devido às emissões provenientes da queima de biomassa, nomeadamente de partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2,5}$). Esta dissertação efetua uma análise dos dados de qualidade do ar ao longo do período de 2013-2015, examinando a influência destas ocorrências na concentração de partículas em suspensão e quantidade de excedências verificadas em relação aos valores legislados, avaliando-se relações que possam constituir a base de uma metodologia para identificação da contribuição adicional causada pelos incêndios.

A ocorrência de incêndios de 2013 a 2015 apresentou variabilidade anual, tendo sido o ano de 2013 o ano mais afetado (com 23 644 ocorrências e 160 876 hectares de área ardida), tendo estas ocorrido maioritariamente nas regiões Norte e Centro. A realização deste trabalho permitiu observar que os incêndios florestais influenciaram a concentração média diária de PM_{10} mediante um aumento médio de cerca de $3 \mu g/m^3$ (face à não ocorrência de incêndios florestais), e que foram responsáveis por cerca de 22% das excedências ao Valor Limite diário de PM_{10} , em estações de monitorização de fundo. A seleção de alguns casos de estudo de incêndios de grandes dimensões, com a aplicação de ferramentas de modelos de trajetória e dispersão ajudaram a estabelecer uma conexão entre o aumento da concentração média diária de PM_{10} .

Palavras-Chave: Incêndios florestais, Partículas em suspensão, Portugal.

Abstract

Wildfires are usually of anthropogenic origin and can be controlled or prevented through appropriate action. In Portugal the occurrence of wildfires is seasonal, typically beginning in June and ending in September. However, due to the effects of climate change, in recent years there has been a widening of this period, starting earlier and ending at the end of October, leading to a higher number of fires per year and larger burnt areas.

These occurrences have a significant effect on local and regional air quality due to emissions from biomass burning, particularly particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}). This dissertation analyses the air quality data over the period 2013-2015, examining the influence of these occurrences on the concentration of suspended particles and the number of verified exceedances in relation to the legislated values, evaluating relationships that may constitute the basis of a methodology to identify the additional contribution caused by the fires.

The occurrence of fires from the 2013 to 2015 period presented annual variability, with the year of 2013 being the most affected year (with 23 664 occurrences and 160 876 hectares of burnt area), most of which occurred in the North and Center regions. This study showed that forest fires influenced the average daily concentration of PM₁₀ by an average increase of about 3 µg/m³ (in opposition to the non-occurrence of forest fires), which accounted for about 22% of the Daily Limit Value of PM₁₀ in background monitoring stations. The selection of a few wildfires case studies with big dimensions with the application of trajectory and dispersion model tools helped to establish a connection between the increase in the mean daily concentration of PM₁₀.

Índice

1.	Introdução.....	1
1.1.	Enquadramento	1
1.2.	Âmbito e objetivos	1
1.3.	Estrutura	2
2.	Revisão de literatura.....	3
2.1.	Floresta nacional	3
2.2.	O fogo e os incêndios florestais	4
2.3.	Emissões atmosféricas associadas aos incêndios florestais.....	10
2.4.	Influência dos incêndios florestais na qualidade do ar	12
2.4.1.	Efeitos na saúde e ecossistema.....	12
2.4.2.	Enquadramento legislativo	14
3.	Metodologia	19
3.1.	Aspetos metodológicos gerais.....	19
3.2.	Incêndios florestais – dados ICNF.....	23
3.3.	Incêndios florestais – dados de FRP	24
3.4.	Dados de qualidade do ar	25
3.5.	Dados de ocorrência de eventos naturais de transporte de poeiras.....	27
3.6.	Extensão espacial da contribuição de incêndios – modelação da dispersão e trajetória da pluma	27
4.	Resultados e Discussão	28
4.1.	Caracterização climatológica no período de 2013 a 2015	28
4.2.	Incêndios florestais ocorridos entre 2013 e 2015.....	29
4.2.1.	Ocorrências registadas pelo ICNF	29
4.2.2.	Ocorrências detetadas pelo MODIS.....	39
4.2.3.	Comparação entre Área ardida e valor total de FRP	43
4.3.	Concentrações de poluentes atmosféricos	45
4.3.1.	Partículas em suspensão – ano 2013	47
4.3.2.	Partículas em suspensão – ano 2014	48
4.3.3.	Partículas em suspensão – ano 2015	50
4.4.	Influência da temperatura média do ar na ocorrência de incêndios florestais.....	52
4.5.	Influência da ocorrência de incêndios florestais na concentração média de partículas em suspensão.....	54
4.6.	Relação entre classes de área ardida e concentração média de partículas em suspensão	55
4.7.	Relação entre os fatores analisados e as concentrações de partículas em suspensão – Correlações.....	57
4.8.	Influência da ocorrência de incêndios florestais nas excedências ao valor limite diário de partículas em suspensão	60
5.	Casos de estudo.....	68
5.1.	Incêndio florestal de Picões – Julho de 2013.....	69
5.1.1.	Descrição da ocorrência	69
5.1.2.	Caracterização meteorológica e climatológica	70
5.1.3.	Análise da qualidade do ar	72

5.1.4.	Partículas em suspensão	73
5.1.5.	Ozono	76
5.1.6.	Monóxido de azoto	77
5.1.7.	Dióxido de azoto	78
5.1.8.	Análise da trajetória e dispersão de partículas	79
5.2.	Incêndio florestal do Caramulo – Agosto de 2013	81
5.2.1.	Descrição da ocorrência	81
5.2.2.	Caracterização meteorológica e climatológica	82
5.2.3.	Análise da qualidade do ar	84
5.2.4.	Partículas em suspensão	85
5.2.5.	Ozono	88
5.2.6.	Monóxido de azoto	89
5.2.7.	Dióxido de azoto	90
5.2.8.	Análise da trajetória e dispersão de partículas	91
5.3.	Incêndio florestal de Pedrogão Grande – Junho de 2017	94
5.3.1.	Descrição da ocorrência	94
5.3.2.	Caracterização meteorológica e climatológica	95
5.3.3.	Análise da qualidade do ar	97
5.3.4.	Partículas em suspensão	98
5.3.5.	Ozono	101
5.3.6.	Dióxido de azoto	102
5.3.7.	Análise da trajetória e dispersão de partículas	103
6.	Conclusões	107
7.	Referências	110

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Distribuição da ocupação e uso do solo em Portugal Continental no ano de 2010. (ICNF, 2013a).....	3
Figura 2.2 - Triângulo do fogo. (adaptado de Bell-Young, 2018).....	5
Figura 2.3 - Suscetibilidade aos incêndios florestais. (fonte: Verde & Zêzere, 2007)	7
Figura 2.4 - Distribuição espacial dos incêndios florestais ocorridos nos anos de 2013, 2014 e 2015. (adaptado de ICNF, 2017b).....	8
Figura 2.5 - Distribuição espacial dos incêndios florestais ocorridos em 2017 (adaptado de ICNF, 2017b).....	9
Figura 2.6 - Comparação entre as dimensões de partículas em suspensão PM ₁₀ e PM _{2,5} (adaptado de EPA, 2018)	10
Figura 2.7 - Ciclo do ozono troposférico (adaptado de Eötvös Loránd University, 2018)	11
Figura 2.8 - Representação esquemática do enquadramento legislativo da avaliação e gestão qualidade do ar ambiente na União Europeia e em Portugal	14
Figura 3.1 - Esquemática da metodologia utilizada	21
Figura 3.2 - Representação esquemática do período de análise de 31 dias.....	23
Figura 3.3 - Localização das estações de fundo em Portugal Continental.....	25
Figura 4.1 - Distribuição espacial da anomalia da temperatura média anual em relação ao valor médio 1971-2000 para os anos de 2013, 2014 e 2015 (Adaptado de IPMA, 2013c; IPMA, 2015a; IPMA, 2015b).....	28
Figura 4.2 - Número de ocorrências por ano	29
Figura 4.3 - Total de área ardida por região por ano	30
Figura 4.4 - Número de ocorrências por região em 2013	30
Figura 4.5 - Área ardida por região em 2013 (ha).....	31
Figura 4.6 - Número de ocorrências por região em 2014	31
Figura 4.7 - Área ardida por região em 2014 (ha).....	32
Figura 4.8 - Número de ocorrências por região em 2015	32
Figura 4.9 - Área ardida por região em 2015 (ha).....	33
Figura 4.10 - Comparação entre número de ocorrências e área ardida	33
Figura 4.11 - Número de ocorrências por classe de área ardida para o período de análise.....	34
Figura 4.12 - Número de ocorrências área ardida por intervalos por região em 2013	35
Figura 4.13 - Número de ocorrências área ardida por intervalos por região em 2014	36
Figura 4.14 - Número de ocorrências área ardida por intervalos por região em 2015	37
Figura 4.15 - Distribuição de ocorrências e área ardida a nível distrital no período de 2013 a 2015 ..	38
Figura 4.16 - Número de registos de FRP	39
Figura 4.17 - Soma anual dos valores de FRP para cada região	39
Figura 4.18 - Número de registos de FRP por região no ano de 2013	40
Figura 4.19 - Soma mensal dos valores de FRP para cada região, no ano de 2013	41
Figura 4.20 - Número de registos de FRP por região no ano de 2014	41
Figura 4.21 - Soma mensal dos valores de FRP para cada região, no ano de 2014	42
Figura 4.22 - Número de ocorrências de FRP por região no ano de 2015.....	42
Figura 4.23 - Soma mensal dos valores de FRP para cada região, no ano de 2015	43
Figura 4.24 - Distribuição espacial dos valores de FRP para os anos de 2013, 2014 e 2015	43
Figura 4.25 - Comparação entre o total dos valores de FRP e a Área ardida nos anos de 2013, 2014 e 2015.....	44
Figura 4.26 - Concentração média mensal de PM ₁₀ em 2013	47
Figura 4.27 - Concentração média mensal de PM _{2,5} em 2013	48
Figura 4.28 - Rácios mensais de PM _{2,5} / PM ₁₀ em 2013.....	48
Figura 4.29 - Concentração média mensal de PM ₁₀ em 2014	49
Figura 4.30 - Concentração média mensal de PM _{2,5} em 2014	49
Figura 4.31 - Rácios mensais de PM _{2,5} / PM ₁₀ em 2014.....	50
Figura 4.32 - Concentração média mensal de PM ₁₀ em 2015.....	51
Figura 4.33 - Concentração média mensal de PM _{2,5} em 2015	51
Figura 4.34 - Rácios mensais de PM _{2,5} / PM ₁₀ em 2015.....	52
Figura 4.35 - Comparação da temperatura do ar.....	53
Figura 4.36 - Comparação da concentração média de PM ₁₀ dos três anos, entre dias com incêndios e dias sem incêndios	54
Figura 4.37 - Concentração média de PM ₁₀ para cada classe de área ardida ao longo do período de análise	55

Figura 4.38 - Concentração média de PM ₁₀ para cada classe de área ardida, por região, ao longo do período de análise	56
Figura 4.39 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre área ardida e concentração média de PM ₁₀	57
Figura 4.40 - Coeficiente de Correlação de Pearson, entre FRP e concentração média de PM ₁₀	58
Figura 4.41 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre Temperatura e concentração média de PM ₁₀	58
Figura 4.42 - Coeficiente de Correlação de Pearson, entre Ocorrências e concentração média de PM ₁₀	59
Figura 4.43 - Comparação entre os valores de correlação da área ardida e FRP para os meses de agosto dos anos de 2013 a 2015	60
Figura 4.44 - Quantidade de excedências por estação em 2013	61
Figura 4.45 - Comparação entre a quantidade de dias em excedência ao VL diário e área ardida em 2013.....	62
Figura 4.46 - Quantidade de excedências por estação em 2014	63
Figura 4.47 - Comparação entre a quantidade de dias em excedência ao VL diário e área ardida em 2014.....	64
Figura 4.48 - Quantidade de excedências por estação em 2015	65
Figura 4.49 - Comparação entre a quantidade de dias em excedência ao VL diário e área ardida em 2015.....	66
Figura 5.1 - Localização da área ardida referente a cada caso de estudo (Adaptado de ICNF, 2017b)	68
Figura 5.2 - Localização, área ardida e FRP do incêndio florestal de Picões	69
Figura 5.3 - Média da temperatura mínima e máxima do ar, em Portugal Continental, no mês de julho de 2013 (IPMA, 2013e).....	70
Figura 5.4 - Valores médios mensais do FWI para os anos de 2001 a 2012 e ano 2013. Respetivos valores da área ardida e número de ocorrências. (Fonte: IPMA, 2013b).	71
Figura 5.5 - Evolução média diária do FWI e área ardida em julho (Fonte: IPMA, 2013b).	72
Figura 5.6 - Concentração média diária de PM ₁₀ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões	73
Figura 5.7 - Concentração média diária de PM _{2,5} durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões	74
Figura 5.8 - Concentração média diária de O ₃ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões	76
Figura 5.9 - Concentração média diária de NO durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões	77
Figura 5.10 - Concentração média diária de NO ₂ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões	78
Figura 5.11 - Modelo de trajetória de partículas de dia 08 a dia 12 de julho	79
Figura 5.12 - Área de dispersão da pluma do incêndio no dia 10 de julho	80
Figura 5.13 - Localização, área ardida e FRP do incêndio florestal do Caramulo.....	81
Figura 5.14 - Número de dias com temperatura mínima do ar ≥ 20°C, temperatura máxima do ar ≥ 30°C, e temperatura máxima do ar ≥ 35°C, em Portugal Continental, no mês de agosto de 2013 (IPMA, 2013)	82
Figura 5.15 - Valores médios mensais do FWI para os anos de 2001 a 2013 e respetivos valores da área ardida e número de ocorrências. Fonte de ocorrências e área ardida (Fonte: IPMA, 2013a)	83
Figura 5.16 - Evolução média diária do FWI e área ardida em agosto. Fonte de ocorrências e área ardida (Fonte: IPMA, 2013a)	83
Figura 5.17 - Concentração média de PM ₁₀ durante o incêndio florestal do Caramulo.....	85
Figura 5.18 - Concentração média de PM _{2,5} durante o incêndio florestal do Caramulo	86
Figura 5.19 - Concentração média de O ₃ durante o incêndio florestal do Caramulo.....	88
Figura 5.20 - Concentração média de NO durante o incêndio florestal do Caramulo	89
Figura 5.21 - Concentração média de NO ₂ durante o incêndio florestal do Caramulo	90
Figura 5.22 - Modelo de trajetória de partículas de dia 22 de agosto a dia 2 de setembro.....	92
Figura 5.23 - Área de dispersão da pluma do incêndio no dia 30 de agosto.....	93
Figura 5.24 - Localização, área ardida e FRP do incêndio florestal de Pedrogão Grande	94
Figura 5.25 - Distribuição espacial dos valores médios da temperatura média do ar e anomalias da temperatura média do ar (em relação ao período 1971-2000), no mês de junho. (IPMA, 2017)	95
Figura 5.26 - FWI médio nas regiões: Norte, Centro e Sul (Fonte: IPMA, 2017a)	96

Figura 5.27 - Evolução diária do FWI médio em junho de 2017 em Portugal Continental e comparação com os percentis. (Fonte: IPMA, 2017a)	97
Figura 5.28 - Concentração média de PM ₁₀ durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande.....	98
Figura 5.29 - Concentração média de PM _{2,5} durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande	99
Figura 5.30 - Concentração média de O ₃ durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande.....	101
Figura 5.31 - Concentração média de NO ₂ durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande	102
Figura 5.32 - Modelo de trajetória de partículas de dia 17 a dia 24 de junho.....	103
Figura 5.33 - Área de dispersão da pluma do incêndio nos dias 17 e 19 de junho	104
Figura 5.34 - Área de dispersão da pluma do incêndio nos dias 21 e 22 de junho	105

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Objetivos de qualidade do ar a cumprir, por poluentes, como definido pelo Decreto-Lei n.º 102/2010.....	15
Tabela 3.1 - Exemplo do cálculo das excedências e respetivos descontos	22
Tabela 3.2 - Estações de monitorização da qualidade do ar, com influência de Fundo (Adaptado de Qualar, 2017).....	26
Tabela 4.1 - Eficiências das estações de monitorização da qualidade do ar utilizadas	46
Tabela 4.2 - Pesos de cada tipologia de excedências em relação a cada estação para o período estudado	67
Tabela 5.1 - Rácio de $PM_{2,5}/PM_{10}$ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal do Picões	75
Tabela 5.2 - Rácio de $PM_{2,5}/PM_{10}$ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal do Caramulo	87
Tabela 5.3 - Rácio de $PM_{2,5}/PM_{10}$ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Pedrogão Grande	100

Lista de Siglas e Acrónimos

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CCDR	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CE	Comissão Europeia
FRP	<i>Fire Radiative Power</i>
FWI	<i>Fire Weather Index</i>
HYSPLIT	<i>Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory</i>
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e Florestas
IPMA	Instituto Português do Mar e Atmosfera
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MT	Margem de Tolerância
NASA	<i>National Aeronautics and Space Agency</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
VL	Valor Limite

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A qualidade do ar nos países europeus está sob a influência de várias fontes antropogénicas e biogénicas conhecidas. Na Europa, a legislação sobre a qualidade do ar impõe medidas para minimizar as concentrações nocivas de poluentes atmosféricos quando estas excedem os valores-limite (VL) várias vezes por ano (dependendo do poluente). No entanto, e principalmente em países do sul da Europa, há contribuições biogénicas, principalmente resultantes do transporte a longa distância de material particulado com origem em regiões áridas e de incêndios florestais incontrolados, às quais não é possível impor limites às suas cargas poluentes. Estas fontes acarretam uma contribuição adicional de poluentes atmosféricos principalmente durante o período de primavera e verão.

Tanto as emissões biogénicas de poeiras como os incêndios florestais não são passíveis de um controlo humano rigoroso, dependendo, as quantidades emitidas, de fatores meteorológicos e naturais. No entanto, a quantificação da sua contribuição para a qualidade do ar medida constitui um objetivo relevante, principalmente no que se refere à justificação da ocorrência de excedências ao valor limite de determinados poluentes que os Estados-Membros da União Europeia transmitem anualmente no âmbito do regime de reporte de informação de qualidade do ar ambiente.

Apesar de vários estudos terem já demonstrado o impacto de incêndios na qualidade do ar e de realçarem a sua contribuição para a excedência da concentração média diária de partículas em suspensão, não existe um método exaustivo para a identificação e a quantificação do impacto dos episódios de incêndios desenvolvida e comunicada à Comissão Europeia no âmbito do relatório anual sobre a avaliação da qualidade do ar. Na ausência de metodologias desenvolvidas e implementadas, o presente estudo pretende lançar as bases de investigação sobre esta temática, procurando avaliar a influência dos incêndios florestais na qualidade do ar e de forma a estabelecer e testar uma possível metodologia para a sua quantificação.

1.2. Âmbito e objetivos

O objetivo desta dissertação visa avaliar a influência da ocorrência de incêndios florestais na qualidade do ar, com especial enfoque no poluente partículas em suspensão.

Para tal efetuou-se a avaliação e análise das concentrações de poluentes atmosféricos e da ocorrência de incêndios florestais, num horizonte temporal de três anos (2013 a 2015), de forma a identificar se as excedências aos VL legislados se devem à sua influência. Para tal, recorreu-se a dados disponibilizados pelo Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), a imagens de satélite do sensor MODIS, a dados de qualidade do ar da rede Qualar disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e, por fim, ao modelo HYSPLIT de trajetórias e dispersão, de forma a determinar o trajeto das partículas e a área de dispersão da pluma resultante dos incêndios florestais. Foram ainda selecionados três casos de estudo, onde se desenvolveu uma análise mais detalhada. Dadas as características de extrema severidade e dimensão do incêndio de Pedrogão Grande, ocorrido

em 2017, este foi incluído como caso de estudo, ainda que se situe fora do período de análise de 2013-2015 e não houvesse, à data da elaboração da presente tese, dados validados finais de qualidade do ar que permitissem uma análise totalmente exata.

1.3. Estrutura

A presente tese é constituída por seis capítulos, nos quais se apresentam os seguintes conteúdos. No primeiro capítulo é feita uma introdução e enquadramento do tema estudado. No segundo capítulo é apresentada uma revisão de literatura, na qual são abordados os incêndios florestais no território nacional, como são estes detetados e os seus impactes na qualidade do ar e efeitos na saúde. No terceiro capítulo é descrita a metodologia utilizada no decorrer deste processo. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos através deste estudo e é elaborada uma consequente análise e discussão. No quinto capítulo são apresentados três casos de estudo, nos quais são aplicados o tipo de análise elaborada no quarto capítulo, mas com um maior nível de detalhe. No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões referentes aos resultados obtidos na elaboração deste trabalho.

2. Revisão de literatura

2.1. Floresta nacional

A floresta nacional portuguesa é uma riqueza estratégica que cobre cerca de 35% do território, onde, cerca de 26% do espaço florestal é composto por Eucaliptos, sendo esta a espécie dominante, seguida pelo sobreiro e pinheiro-bravo, ambas as espécies representando 23% do espaço florestal. Além da floresta, é de notar que a restante superfície do território continental português é ocupada por, aproximadamente, 32% de áreas de mato e pastagens e por, aproximadamente, 24% de áreas agrícolas (Figura 2.1). Tais números são um indicativo do quão importante são estas zonas, pois no seu total constituem cerca de 91% do território continental português (ICNF, 2013a).

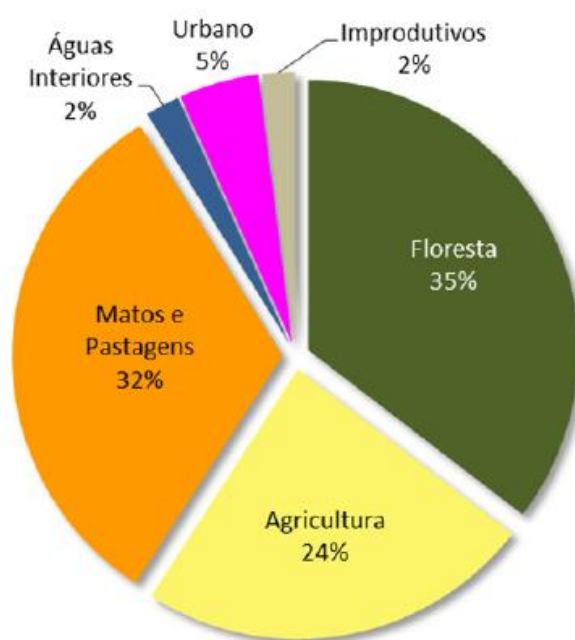


Figura 2.1 - Distribuição da ocupação e uso do solo em Portugal Continental no ano de 2010. (ICNF, 2013a)

Contudo, a importância dos espaços florestais não está na dimensão da sua área, mas sim nos diversos papéis que estes possuem. Os espaços florestais possuem um papel ambiental muito importante, sendo estes os responsáveis por um diverso conjunto de serviços de ecossistema, tais como a formação e proteção dos solos, a conservação dos habitats e biodiversidade, a regulação de clima, regularização dos regimes hídricos, qualidade do ar e da água, e, principalmente, como um elemento representativo do diverso leque de atores da mitigação das alterações climáticas, a qual atua como um sumidouro de dióxido de carbono (CO₂) (AFN - Autoridade Nacional Florestal, 2009).

Além destes papéis importantes, também conferem funções de suporte a sistemas socio-ecológicos agrosilvopastoris. Em termos socioeconómicos, o espaço florestal está intrinsecamente ligado ao turismo de natureza, no qual se revêem diversas atividades ligadas ao bem-estar e lazer (Campos, 2017). O espaço florestal possui também uma grande importância para o produto interno bruto (PIB) português, pois o setor do papel e cartão, pasta de papel, cortiça, madeira e produtos de resina e

mobiliário, representam cerca de 10% das exportações nacionais. A um nível mais local, contribuem ainda para a produção de frutos secos, caça e atividades de turismo e lazer (PEFC Portugal, 2013)

Devido às condições naturais do clima mediterrânico, seja, temperaturas elevadas, precipitação reduzida e forte evaporação durante o verão, a vegetação encontra-se num estado facilmente inflamável, incentivando a ocorrência de incêndios florestais (Rebelo, 2003). Nos países de clima mediterrânico, o fogo é um elemento essencial na sucessão natural de algumas espécies vegetais, existindo mesmo algumas espécies que se encontram adaptadas ao fogo e onde após a passagem do mesmo estas regeneram com mais intensidade. Contudo, os incêndios demonstram ser um verdadeiro obstáculo ao desenvolvimento da floresta, tendo o aumento da intensidade e do número de incêndios ao longo dos últimos anos dado origem a um consequente aumento da área ardida, nomeadamente nas regiões Centro e Norte de Portugal (Lourenço, 2004).

2.2. O fogo e os incêndios florestais

O fogo é um fator natural que molda a vegetação do planeta, e, desde que o ser humano conseguiu controlar o seu poder, este tornou-se uma ferramenta indispensável não só para aquecimento e alimentação, mas também para proteção, limpeza de terreno e fertilização do solo. Este tem um peso muito importante na dinâmica de determinados ecossistemas terrestres, trazendo benefícios para a vegetação e solos quando estes se encontram bem-adaptados a estas condições naturais (Chuvieco et al., 2009).

Em termos físico-químicos, o fogo é uma reação exotérmica que se dá quando um combustível na sua forma sólida, líquida ou gasosa, entra num processo de oxidação rápida a temperaturas elevadas, acompanhado pela evolução de produtos gasosos derivados desta combustão, emitindo também radiação do espectro visível e infravermelho. Em suma, para que um fogo seja deflagrado, é necessário que existam os quatro elementos representados na Figura 2.2, representativa do triângulo do fogo. É necessário a existência de um combustível sob a forma de um material inflamável para iniciar o processo de combustão. Quando este é aquecido para além do seu ponto de inflamação, este entra na sua fase gasosa e liberta pressão de vapor que pode incendiar no ar, suportando consequentemente a combustão. É então gerado calor através do processo de combustão devido a ser uma reação exotérmica, a qual, liberta ainda mais calor de forma a tornar o fogo autossustentável. É então necessário um agente de oxidação para suportar a combustão com o combustível, sendo oxigénio o agente mais comum. Os gases voláteis libertados pelo combustível, quando chegam à temperatura de ignição, o seu composto molecular é quebrado e recombinado com o oxigénio de forma a libertar calor, formar vapor de água, dióxido de carbono e outros produtos derivados da combustão. Por fim, o que torna um fogo autossustentável são as reações em cadeia derivadas do calor originado no processo de combustão.

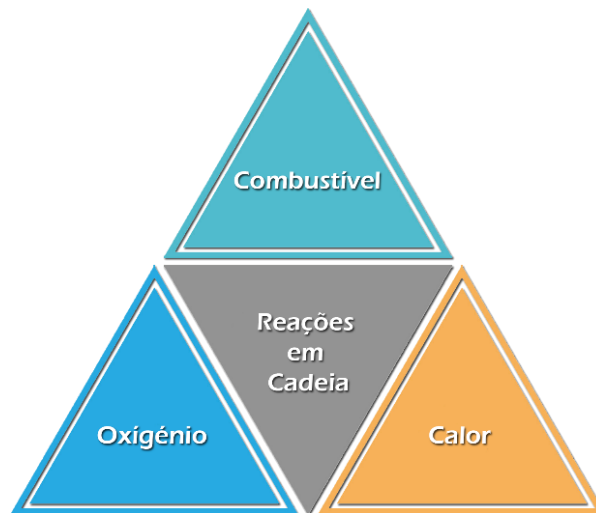


Figura 2.2 - Triângulo do fogo. (adaptado de Bell-Young, 2018)

As conjugações de todos estes componentes do fogo podem causar efeitos devastadores quando o seu ciclo natural é alterado ou quando as suas condições são mais severas, tornando-se numa ocorrência fora de controlo, passando a intitular-se por incêndio. De modo a existir uma propagação do mesmo, as condições ideais devem estar reunidas, tais como, vegetação combustível, condições meteorológicas apropriadas e fontes de ignição. Contudo, quantidade e continuidade do combustível disponível no terreno não são os únicos fatores na equação do fogo. A localização desse combustível, numa ótica de posicionamento topográfico, também é muito importante, dado que, o fogo tende a propagar-se mais rapidamente em declives acentuados. O vento tende a ser canalizado e amplificado em presença de certas características topográficas, como desfiladeiros e cadeias montanhosas. (Beighley & Hyde, 2018)

Deste modo, o fogo não deve ser considerado como um fenómeno binário (queimado/não queimado), mas sim como um processo dinâmico que requer um conhecimento específico das interações entre fogo e ambiente (Chuvieco et al., 2009). Na realidade, o fogo ou neste caso mais concreto, os incêndios florestais, comportam-se como um ser vivo passando por várias fases “vida”, onde é possível observar o seu nascimento na altura da sua ignição, o seu crescimento quando observamos o alargamento de uma área queimada, a sua reprodução quando dá-se a projeção de material incandescente ou a forte intensidade das chamas que dá origem a fogos secundários, e, por fim, ao seu envelhecimento e morte quando corresponde as fases de contenção e extinção (Viegas, 2006). Este é também considerado como um processo natural, dado que pode ser causado por fatores naturais, tais como atividade vulcânica e trovoadas secas. Contudo, numa escala global, o fogo é maioritariamente controlado por atividades humanas, as quais podem causar incêndios de forma direta ou indireta. (Chuvieco et al., 2009).

Embora o fogo tenha tido outrora a função de moldar os ecossistemas, nomeadamente os ecossistemas mediterrânicos, os regimes de ocorrência de incêndios, ou seja, a sua frequência e intensidade, foram alterados. Este ciclo natural tornou-se reduzido, tornando os incêndios florestais mais recorrentes ao longo dos anos, em que se tem vindo a registar um maior número de ocorrências, um maior aumento e extensão, tomando dimensões catastróficas e perdendo consequentemente o seu

papel na renovação dos ecossistemas (Leite et al., 2014). Segundo Pyne (2006), o clima mediterrânico é um ambiente propício a incêndios, pois, este tipo de clima possui as condições apropriadas para uma base natural dos regimes de incêndio, existindo um ciclo entre períodos de chuva no inverno e períodos de seca no verão. Deste modo, existe sempre locais suficientemente húmidos para a criação de combustível e, posteriormente, locais secos para que este possa arder.

Em Portugal, os incêndios florestais têm vindo a destruir milhares de hectares ao longo dos últimos anos. A média de área ardida em cada década aumentou de menos de 75 000 ha na década de 1980 para 100 000 ha na década de 1990 e mais de 150 000 na década de 2000 (Beighley & Hyde, 2018). A grande maioria das mais graves incidências de incêndios florestais e consequente área ardida, situam-se a norte do rio Tejo, existindo algumas exceções, tal como nas regiões do Barlavento algarvio, Algarve central e Sotavento (Pereira et al., 2006). Na região do país a norte do rio Tejo, a quantidade de área ardida junto ao litoral dos distritos de Braga, Porto, Aveiro, Coimbra, Leiria e Lisboa é por norma baixa, existindo algumas exceções, como os grandes incêndios florestais de outubro de 2017 nos distritos de Coimbra e Leiria. Ao longo do período de 1980 a 2004, Pereira afirma que, o somatório dos valores verificados para Portugal, indicam que se deu um incêndio a cada 20 hectares de território, termos equivalentes tal área ardida traduz-se em cerca de 30% do território continental de Portugal (Pereira et al., 2006).

Deste modo, Portugal tem um problema não com o fogo em si, mas sim com a forma como este se relaciona com o território, isto é, com o uso que os cidadãos fazem desse mesmo território e como a forma que o fogo em si é utilizado (Verde & Zêzere, 2007). Tais fatores geoeconómicos como: a deslocação populacional das zonas rurais para as zonas urbanas, a alteração do uso dos solos, o aumento das áreas agrícolas e abandono das áreas florestais e a fragmentação da propriedade rural que desincentiva o investimento na gestão florestal e na prevenção de incêndios, são os fatores que em conjugação com a elevada suscetibilidade de incêndios existente em Portugal (Figura 2.3), tornam a ameaça dos incêndios florestais ainda mais acentuada em Portugal (Beighley & Hyde, 2018).

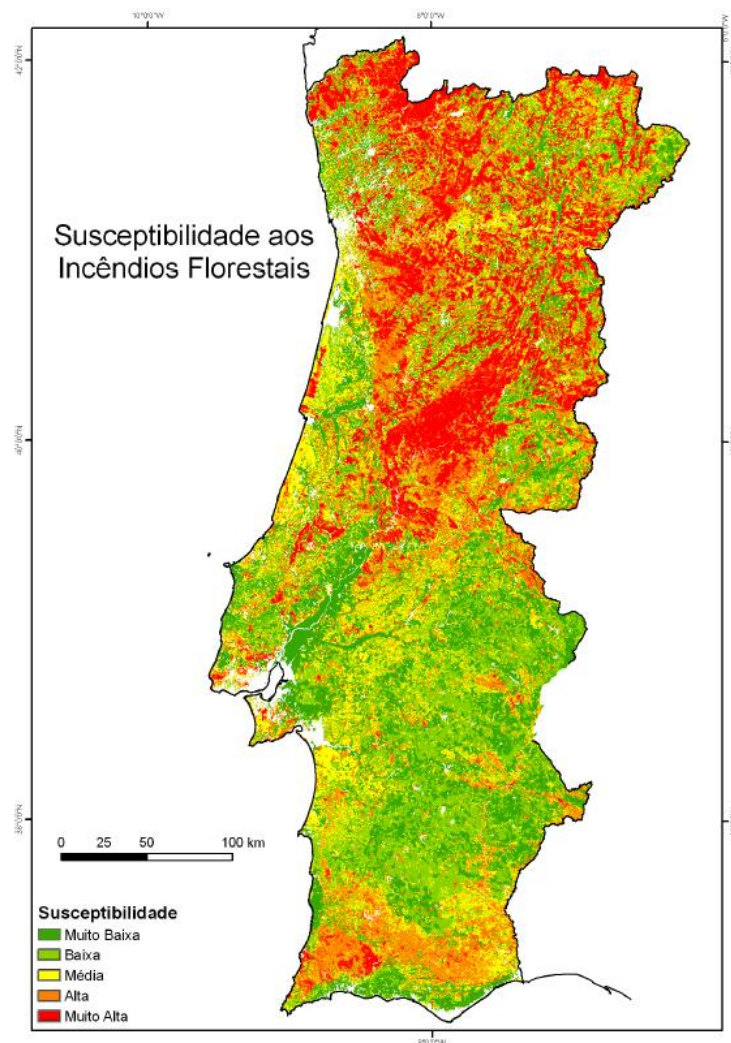


Figura 2.3 - Suscetibilidade aos incêndios florestais. (fonte: Verde & Zêzere, 2007)

Em conjugação aos fatores geoeconómicos, no relatório elaborado recentemente acerca da gestão dos incêndios florestais, os autores, Beighley e Hyde (2018), consideram ainda que os problemas de Portugal em relação aos incêndios florestais são recorrentes de ano para ano, nos quais os principais problemas são: a elevada percentagem de área florestal não gerida, o aumento da quantidade e extensão das cargas combustíveis, o elevado número de ignições indesejadas em condições de incêndio moderadas a graves e as alterações climáticas e períodos crescentes de tempo quente e seco, que levam ao aumento e prolongamento da gravidade de períodos críticos de incêndio.

A época de incêndios, em média, começa cada vez mais cedo e termina cada vez mais tarde, tornando os valores de área ardida nas últimas duas décadas bastante imprevisíveis, tendo variado entre 18 245 hectares, em 2008, e acima de 475 000 hectares, em 2017. No período abordado no âmbito desta dissertação, de 2013 a 2015, verifica-se que a distribuição espacial da área ardida permanece a mesma em relação ao período de 1980 a 2004, afetando fortemente as regiões Norte e Centro (Figura 2.4). Apesar de este período não ter sido tão intenso como os anos de 2003, 2004 e 2005, verifica-se também um padrão semelhante no que diz respeito à área ardida. No período abordado no âmbito por esta dissertação, verificou-se que o ano de 2013 ficou marcado devido à quantidade e dimensão dos

incêndios florestais, no qual o relatório do ICNF indica a existência de 19 291 ocorrências, as quais se traduziram em 152 758 hectares de área ardida (ICNF, 2013b).

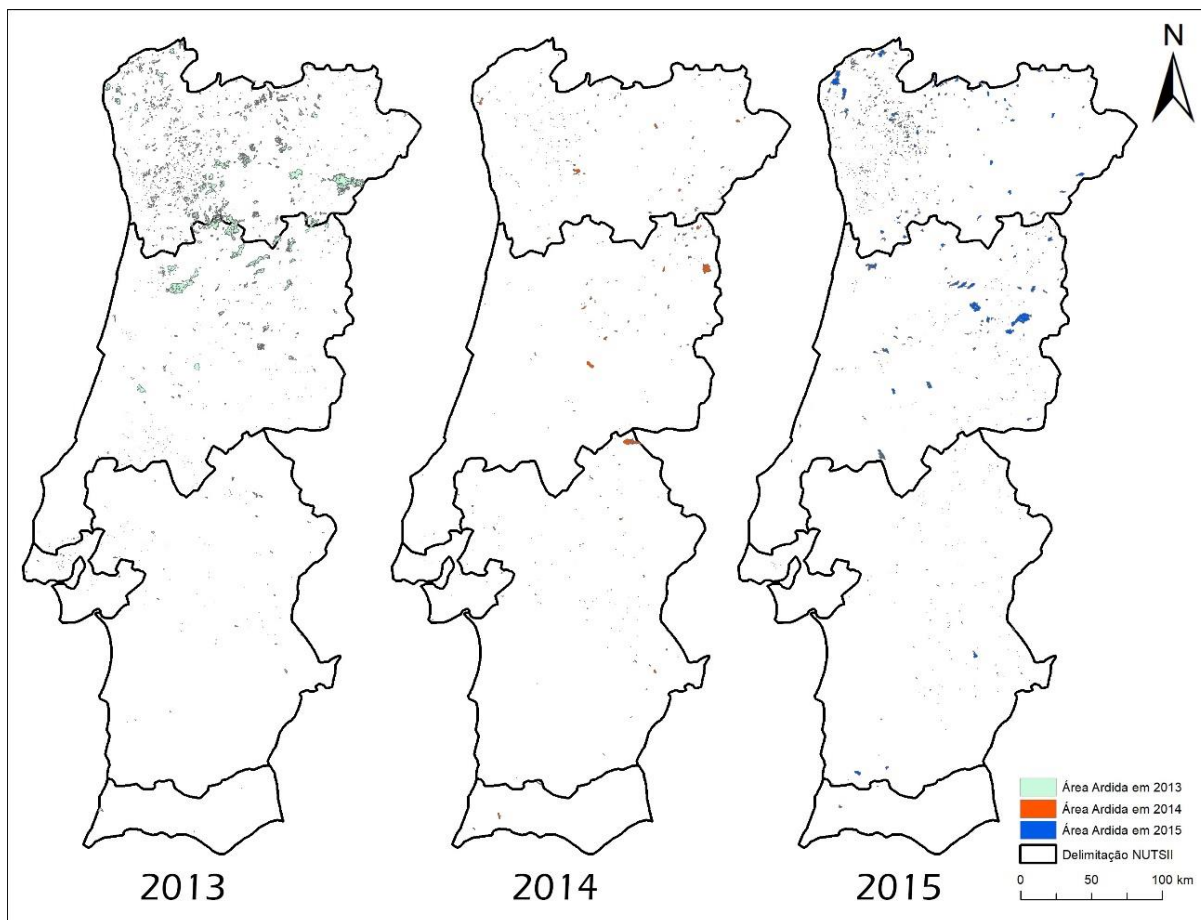


Figura 2.4 - Distribuição espacial dos incêndios florestais ocorridos nos anos de 2013, 2014 e 2015. (adaptado de ICNF, 2017b)

Após a gravidade dos incêndios florestais no ano de 2013, o ano de 2014 foi especialmente calmo, no qual o ICNF relatou a existência de 7 067 ocorrências, onde a área ardida foi de 19 929 hectares (ICNF, 2014). A causalidade de se ter verificado um verão ameno em 2014, concede à vegetação um crescimento mais acelerado, devido a um menor stress hídrico. O que, juntamente com os baixos valores de área ardida, fornecem ainda mais biomassa para contribuir como combustível para futuros incêndios em verões quentes e secos (Beighley & Hyde, 2018), o qual, ironicamente, se verificou em 2017. Neste ano, uma seca severa, vagas de calor, extensas áreas florestais e de mato inflamáveis e um fenómeno meteorológico que decorreu a meados do mês de outubro, o furacão Ofélia, criaram as condições perfeitas para um ano fustigado por incêndios florestais sem precedentes (Beighley & Hyde, 2018). A Figura 2.5 representa a distribuição dos incêndios florestais ocorridos em 2017, os quais são ainda provisórios (ICNF, 2017a).

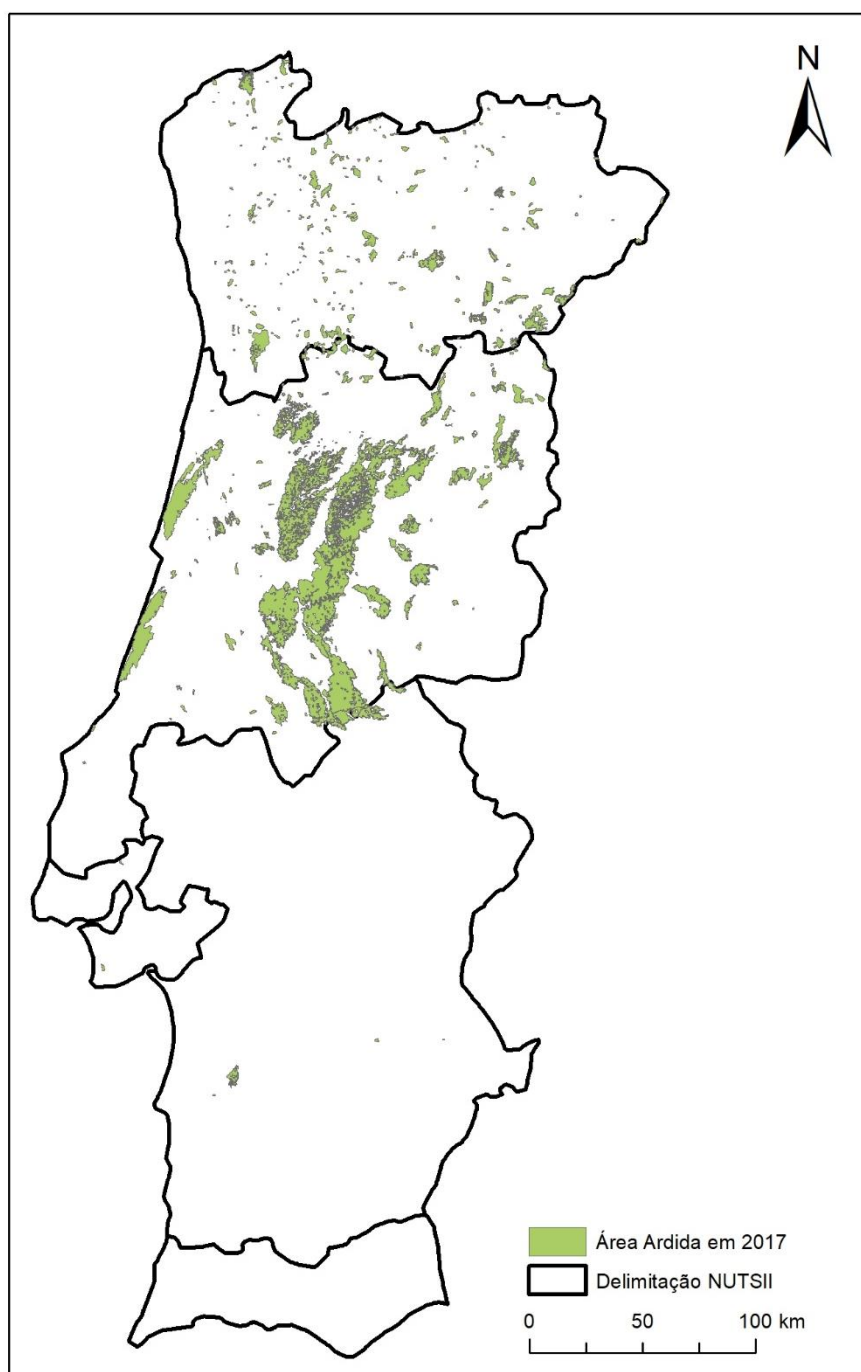


Figura 2.5 - Distribuição espacial dos incêndios florestais ocorridos em 2017 (adaptado de ICNF, 2017b)

As projeções para o futuro não são animadoras; os autores Beighley & Hyde (2018) indicam que durante a próxima década existe um risco potencial de num ano poderem ocorrer múltiplos incêndios de grandes dimensões em simultâneo, em várias regiões de Portugal Continental. Tais incêndios conduziriam a um total anual de área ardida de 600 mil a 750 mil hectares, queimando quase 10% das áreas florestais, arbustivas e agrícolas de Portugal. Para além das perdas socioeconómicas associadas a este evento, o fator de risco associado em termos de qualidade do ar seria também elevado.

2.3. Emissões atmosféricas associadas aos incêndios florestais

Desde o final dos anos 70 que a queima de biomassa a céu aberto é reconhecida como uma importante fonte de emissão de poluentes para a atmosfera derivados do fumo emitido, o qual contém quantidades importantes de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COV) e partículas em suspensão (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$). A queima de biomassa é um componente crítico na qualidade do ar à escala local, regional e hemisférica, possuindo desse modo um grau de importância muito elevado ao nível do sistema climático (Carvalho et al., 2011). O impacto destes poluentes na atmosfera tem vindo a ser acentuado devido ao aumento da frequência e da extensão dos incêndios nas últimas décadas (Rowell, 2000). O tipo de poluente e quantidade emitida variam consoante o tipo de material que arde num incêndio. Conhecendo a biomassa disponível por tipo de ocupação de solo é possível estimar a proporção dessa mesma biomassa consumida durante um incêndio florestal (Pio et al., 2006). A variação do tipo de material consumido e as suas características podem contribuir em cerca de 30% para a incerteza nas estimativas de emissões atmosféricas.

As partículas em suspensão, PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$, são o principal poluente do fumo proveniente de um incêndio florestal e constituem o poluente atmosférico mais nocivo para a saúde humana. A sua categorização está interligada com o seu diâmetro aerodinâmico: as partículas inaláveis (PM_{10}) possuem um diâmetro inferior a $10\text{ }\mu\text{m}$ enquanto as partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$) possuem um diâmetro inferior a $2,5\text{ }\mu\text{m}$. Em comparação, o tamanho de um cabelo de humano é de 50 a $70\text{ }\mu\text{m}$ (Figura 2.6).

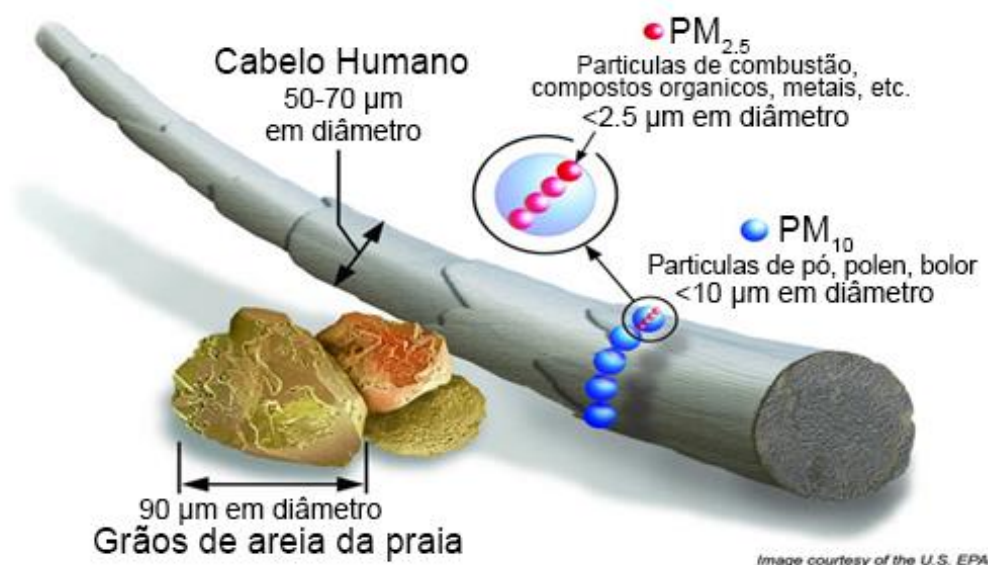


Figura 2.6 - Comparação entre as dimensões de partículas em suspensão PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$ (adaptado de EPA, 2018)

As partículas em suspensão, devido ao seu diâmetro, podem permanecer na atmosfera por longos períodos com duração de dias a semanas. Deste modo, as partículas estão sujeitas ao transporte e dispersão ao longo de grandes distâncias (Belgian Interregional Environment Agency, 2018).

De entre as várias espécies de óxido nitroso, o dióxido de nitroso é um dos mais importantes, não só devido aos seus efeitos na saúde, mas também porque absorve a radiação solar visível, contribuindo para uma redução da visibilidade, por possuir um papel principal nas alterações climática e devido ao seu papel importante ao determinar as concentrações de ozono troposférico, sendo este o catalisador da formação do ozono. A nível natural, isto é, tendo em conta a sua origem de fontes naturais, as concentrações de NO_2 são potencialmente baixas, devido à dispersão dessas mesmas fontes. As concentrações de NO_2 aumentam quando existem processos de combustão, tanto em fontes móveis (motores de combustão interna em veículos ou navios), como em fontes estacionárias (centrais termoelétricas, aquecimento doméstico, incêndios) (Lodgejr, 1996).

O ozono (O_3) é um composto fulcral na proteção do planeta contra a radiação ultravioleta nas camadas superiores da atmosfera, porém, na camada inferior da atmosfera, este é um poluente que afeta com grande magnitude a saúde pública e a natureza. O O_3 possui uma grande importância na química da atmosfera devido à sua reatividade e forte poder oxidante, participando nos mecanismos de oxidação de vários poluentes atmosféricos (Gonçalves, 2013). O ozono não é diretamente emitido por fontes primárias, mas sim, é formado através da interação entre a radiação solar e os óxidos de azoto (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COV), derivados de fontes antropogénicas ou naturais. As fontes antropogénicas são as que produzem a maior fração de NO_x , devido às suas fontes de emissão móveis e estacionárias (transportes e indústria), sendo que por esse motivo, o O_3 é um tipo de poluente mais comum em áreas metropolitanas (Jaffe & Wigder, 2012). Contudo, os incêndios florestais também emitem gases precursores de O_3 devido à queima de biomassa. Neste caso o O_3 está dependente das reações fotoquímicas entre os compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM), monóxido de carbono (CO) e metano (CH_4) com o O_2 . Os processos fotoquímicos podem ser descritos através da Figura 2.7.

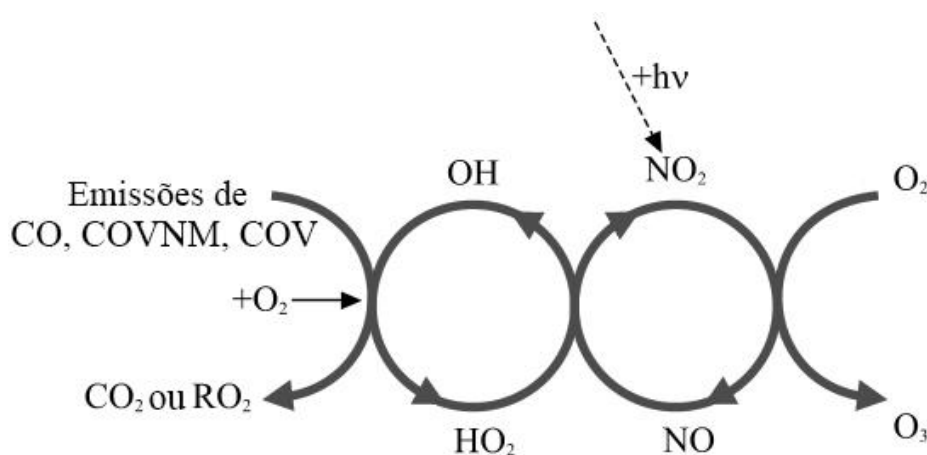


Figura 2.7 - Ciclo do ozono troposférico (adaptado de Eötvös Loránd University, 2018)

Outro poluente com grande abundância após um incêndio florestal é o monóxido de carbono (CO), o qual, em conjugação com o dióxido de carbono e metano, formam uma fonte significativa de gases de efeito de estufa (Martins, 2007).

2.4. Influência dos incêndios florestais na qualidade do ar

Na região do mediterrânico, neste caso concreto em Portugal Continental, os incêndios florestais ocorrem principalmente durante as épocas do ano mais quentes (meses de julho, junho, agosto e setembro), com elevadas temperaturas do ar, muitas vezes em paralelo à eclosão de poeiras do Sahara. As condições climáticas, tais como o vento e precipitação, podem influenciar a quantidade de incêndios e consequente exposição aos poluentes atmosféricos resultantes (Faustini et al., 2015). O impacto na qualidade do ar encontra-se dependente da área de dispersão e altitude da pluma do incêndio. A direção e velocidade do vento influenciam o transporte dos poluentes ao longo de grandes distâncias, ou seja, a emissão e o transporte de precursores de ozono, como monóxido de carbono, óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis, onde as reações químicas entre estes compostos, podem produzir elevadas concentrações de ozono a longas distâncias do ponto de emissão original (Amiridis et al., 2012).

Apesar da influência dos incêndios florestais de baixa magnitude poder não ser perfeitamente quantificada, estes podem, ainda assim, influenciar com grande magnitude uma área urbana quando ocorrem nas imediações da mesma (Sameth et al., 2000). De acordo com as condições meteorológicas, a pluma de fumo produzida por um incêndio florestal pode persistir na atmosfera por largos períodos, em que tais condições irão influenciar as características químicas e óticas da pluma do incêndio. Contudo, apesar dos avanços das evidências científicas, a conexão entre os incêndios florestais e a qualidade do ar não é facilmente estabelecida, sendo que os problemas de poluição do ar são normalmente analisados considerando somente as fontes antropogénicas, tais como o sector industrial e o sector de transportes (Miranda et al., 2006), existindo desse modo uma necessidade no estabelecimento de um sistema que tenha em conta as excedências da concentração de poluentes derivados de eventos de origem natural.

2.4.1. Efeitos na saúde e ecossistema

A libertação do fumo derivado da combustão da biomassa num incêndio florestal causa bastantes efeitos adversos à saúde humana e ao sistema natural. Os efeitos do fumo podem causar desde irritações ao nível dos olhos e do trato respiratório, até redução da função pulmonar, bronquite, asma e morte prematura. Existe então uma conexão entre as partículas em suspensão e o aumento de mortalidade, assim como o agravamento dos problemas respiratórios pré-existentes e doenças cardiovasculares (EPA, 2016). Deste modo, estudos demonstram que os níveis de poluição do ar nas cidades de muitos países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento estão associados ao aumento das taxas de mortalidade e morbilidade. Os mesmos indicam ainda que partículas em suspensão são um componente tóxico na qualidade do ar urbano. Estes estudos toxicológicos indicam ainda que os efeitos do fumo derivado de incêndios causam lesões ao nível das células no sistema traqueobrônquial e alterações ao nível da morfologia das células do sistema imunitário nos pulmões (Faustini et al., 2015).

Os efeitos imediatos na saúde podem ser verificados em indivíduos que se encontram perto das zonas de combustão devido às elevadas concentrações de gases tóxicos junto das fontes emissoras. A inalação destes gases tóxicos está habitualmente associada à inalação de monóxido de carbono (CO) a qual leva a uma consequente inativação da hemoglobina, resultando, por vezes, no desmaio, morte, ou diminuição das capacidades motoras para se dirigir a um local seguro, fora das zonas de maior concentração de gases tóxicos e das áreas de ação do incêndio (Pio et al., 2006). Foi registado que, nos incêndios florestais em Portugal no verão de 2003, derivado da inalação de fumo, 21 pessoas morreram e outras mil pessoas tiveram de receber assistência médica (Schmuck et al., 2014).

Num estudo elaborado em vinte cidades dos Estados Unidos da América, no período de 1987 a 1994, foi demonstrada uma associação entre os níveis de PM_{10} e a taxa de mortalidade devido a problemas cardiovasculares e respiratórios. No âmbito desse mesmo estudo, nas cidades analisadas, foi obtida uma estimativa em que a taxa de mortalidade aumenta 0,5% a cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração de PM_{10} . Em estudos semelhantes em cidades europeias, em que foram analisadas seis cidades do oeste europeu, foi determinado que a taxa de mortalidade possui um aumento estimado de 0,4% para cada aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nas concentrações de PM_{10} (Sameth et al., 2000). Outros estudos, elaborados por Bowman & Johnston (2005), indicam que episódios de poluição com elevadas concentrações de partículas originadas por incêndios, levou a aumentos significativos dos níveis de admissão de pessoas assistidas nos hospitais. Nesse mesmo estudo, a partir de concentrações médias de PM_{10} acima de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} em 24 horas, dá origem a um aumento diário de 26% de pacientes a dar entrada nos hospitais devido a problemas respiratórios.

Segundo Faustini (2015), tanto a mortalidade natural como a relacionada com problemas cardiovasculares e respiratórios são superiores quando a concentração de partículas em suspensão é derivada de um incêndio florestal. Tal deve-se à elevada toxicidade das partículas derivadas da combustão de madeira, a qual é bastante superior em relação a partículas originadas de outras fontes. A potencial variação do efeito da concentração de partículas em relação a mortalidade deve-se às diferenças na sua composição, contudo, outros fatores podem também desempenhar um papel importante no aumento da taxa de mortalidade, como por exemplo o aumento associado da temperatura. Pacientes cardíacos estão mais suscetíveis aos efeitos da temperatura, o que por sua vez magnifica os efeitos das partículas em suspensão no ar ambiente.

Outro poluente muito relacionado com os incêndios florestais e que cria graves consequências para a saúde pública é o ozono troposférico. A exposição a elevadas concentrações de ozono troposférico pode causar efeitos nefastos na saúde humana, em especial a grupos de pessoas como idosos, crianças e pessoas com problemas respiratórios, devido às fortes ligações deste poluente com a irritação dos pulmões, bronquite agravada, enfisemas e asma, causando também a possibilidade de aumentar a mortalidade a curto prazo (Jaffe & Wigder, 2012).

2.4.2. Enquadramento legislativo

O regime jurídico da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente é constituído essencialmente pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro (tendo sido alterado pelo Decreto-Lei n.º 43/2015 de 27 de março), que vigora até à data. Este quadro legal, representado na Figura 2.8, é uma resultante da adoção pela Comissão Europeia (CE) da Diretiva 2008/50/CE, do Conselho, de 21 de maio, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, a qual procedeu à revisão da anterior legislação comunitária elaborada nesta matéria (Diretiva 1996/62/CE, de 27 de setembro, e três das designadas diretivas filhas). O Decreto-Lei n.º 102/2010 abrange os poluentes: dióxido de azoto (NO_2), óxidos de azoto (NO_x), dióxido de enxofre (SO_2), partículas em suspensão (PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$), chumbo (Pb), monóxido de carbono (CO), benzeno (C_6H_6), ozono (O_3) e Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP). O diploma legal referido anteriormente conferiu às Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) competências no domínio da avaliação e gestão dos níveis destes poluentes na sua área de jurisdição e garantia da qualidade das medições.

O enquadramento legislativo comunitário e nacional para a qualidade do ar é representado através da Figura 2.8, com indicação dos poluentes atmosféricos abrangidos por cada diploma legal.

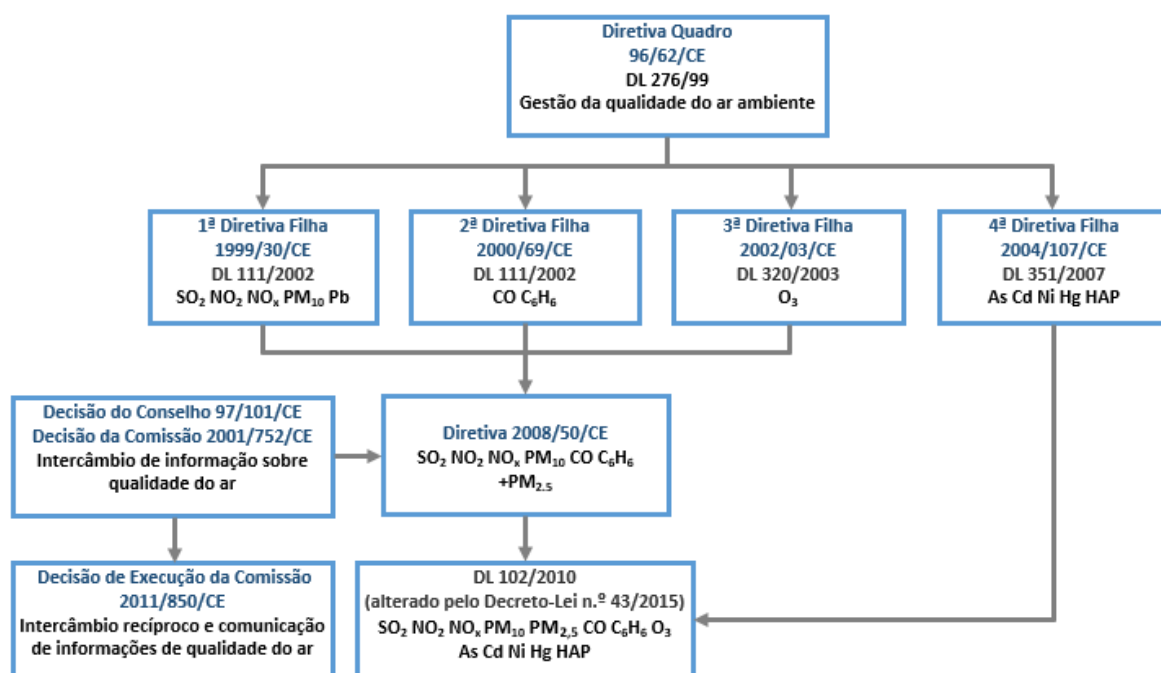


Figura 2.8 - Representação esquemática do enquadramento legislativo da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente na União Europeia e em Portugal

O Decreto-Lei n.º 102/2010 estabelece os limites juridicamente vinculativos para as concentrações de poluentes no ar ambiente, ao nível do solo. Destacam-se os seguintes elementos-chave dos objetivos de qualidade do ar legislados: valores-limite, valores-alvo e objetivo de redução da exposição.

O valor-limite trata-se de um valor de não excedência de um determinado tipo de poluente na atmosfera, durante períodos previamente determinados, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e ou no meio ambiente. Os valores-limite constituem limites de concentração

juridicamente vinculativos que não devem ser ultrapassados. Estes são estabelecidos para cada poluente, tratando-se de um limite de concentração associado a um determinado tempo de medição, podendo haver um número de excedências permitido por ano. Alguns poluentes têm mais do que um valor-limite tendo por base diferentes períodos de integração.

Os valores-alvo não são juridicamente vinculativos mas devem ser atingidos, sempre que possível, tomando todas as medidas necessárias que não impliquem custos desproporcionados.

A seguinte tabela (Tabela 2.1), demonstra, de forma sumária, os objetivos ambientais em matéria de qualidade do ar, definidos por poluente, impostos pelo Decreto-Lei n.º 102/2010.

Tabela 2.1 - Objetivos de qualidade do ar a cumprir, por poluentes, como definido pelo Decreto-Lei n.º 102/2010

Poluente	Objetivo de proteção	Tipo de objetivo ambiental e Ano de entrada em vigor	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências autorizadas)
NO ₂	Saúde	VL e VLMT 2010	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	200 µg/m ³ (18)
		VL e VLMT 2010	Um ano civil	Média anual	40 µg/m ³
		LAlerta	Uma hora	Três horas consecutivas em excesso (em locais representativos da qualidade do ar numa área mínima de 100 km ² ou na totalidade de uma zona ou aglomeração consoante o que for menor)	400 µg/m ³
NO _x	Vegetação	NC 2002	Um ano civil	Média anual	30 µg/m ³
PM ₁₀	Saúde	VL 2005	Um dia	Dias de excedência num ano civil	50 µg/m ³ (35) Percentil 90,4
		VL 2005	Um ano civil	Média anual	40 µg/m ³
		WSS ^{b)}	Um dia	Dias deduzidos de excedência num ano civil	n.d.
			Um ano civil	Dedução da média anual	n.d.
		NAT ^{b)}	Um dia	Dias deduzidos de excedência num ano civil	n.d.
			Um ano civil	Dedução da média anual	n.d.
PM _{2,5}	Saúde	IEM	Três anos civis consecutivos	Indicador de exposição média: (cálculo - ver Diretiva 2008/50/CE)	20 µg/m ³
		ORE			Em conformidade com o anexo XIV parte B da Diretiva 2008/50/CE
		VA, VL e VLMT	Um ano civil	Média anual	25 µg/m ³
	(continua)				

Poluente	Objetivo de proteção	Tipo de objetivo ambiental e Ano de entrada em vigor	Período de referência das avaliações	Unidades do objetivo ambiental	Valores numéricos do objetivo ambiental (número de excedências autorizadas)
(continuação)					
SO ₂	Saúde	VL 2005	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	350 µg/m ³ (24)
		VL 2005	Um dia	Dias de excedência num ano civil	125 µg/m ³ (3)
		LAleria	Uma hora	Três horas consecutivas em excesso (em locais representativos da qualidade do ar, numa área mínima de 100 km ² ou na totalidade de uma zona ou aglomeração, consoante o que for menor)	500 µg/m ³
		NAT ^{b)}	Uma hora	Horas deduzidas de excedência num ano civil	n.d.
			Um dia	Dias deduzidos de excedência num ano civil	n.d.
	Vegetação	NC 2002	Um ano civil	Média anual	20 µg/m ³
			Inverno	Valor médio durante os meses de Inverno, ou seja, de 1 de outubro do ano x-1 a 31 de março do ano x	20 µg/m ³
O ₃	Saúde	VA 2010	Média máxima por períodos de 8 horas	Dias em que a média diária máxima de 8 horas ultrapassou o valor de referência médio ao longo de três anos	120 µg/m ³ (25)
		OLP 2020	Média máxima por períodos de 8 horas	Dias em que a média diária máxima de 8 horas ultrapassou o objetivo a longo prazo num ano civil	120 µg/m ³
		LInfo	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	180 µg/m ³
		LAleria	Uma hora	Horas de excedência num ano civil	240 µg/m ³
	Vegetação	VA 2010	1 de maio a 31 de julho	AOT40 (cálculo - ver Diretiva 2008/50/CE anexo VII)	18 000 µg/m ³ .h
		OLP 2020	1 de maio a 31 de julho	AOT40 (cálculo - ver Diretiva 2008/50/CE anexo VII)	6 000 µg/m ³ .h
CO	Saúde	VL 2002	Média máxima por períodos de 8 horas	Dias em que a média diária máxima de 8 horas ultrapassou o valor-limite	10 mg/m ³
Benzeno	Saúde	VL 2010	Um ano civil	Média anual	5 µg/m ³
Chumbo	Saúde	VL 2005	Um ano civil	Média anual	0,5 µg/m ³
Cádmio	Saúde	VA 2013	Um ano civil	Média anual	5 ng/m ³
Arsénio	Saúde	VA 2013	Um ano civil	Média anual	6 ng/m ³
Níquel	Saúde	VA 2013	Um ano civil	Média anual	10 ng/m ³
B(a)P	Saúde	VA 2013	Um ano civil	Média anual	1 ng/m ³
VL: valor limite, VLMT: valor limite acrescido da margem de tolerância, VA: valor alvo, OLP: objetivo a longo prazo, LInfo: Limiar de informação, LAleria: Limiar de alerta, NC: Nível crítico, NAT: Avaliação da contribuição natural, WSS: Avaliação da areia e do sal utilizados na cobertura das estradas, ORE: Objetivo de redução da exposição, IEM: Indicador de Exposição Média b) Não é necessário comunicar dados atualizados n.d. não definido					

Relativamente à avaliação da contribuição de poluentes provenientes de fontes naturais para os níveis de qualidade do ar, esta está prevista pelo enquadramento legal nacional e comunitário. O Decreto-Lei n.º 102/2010 estabelece que:

“as contribuições provenientes de fontes naturais poderão ser avaliadas, mas não evitadas. Por conseguinte, aquando da avaliação do respeito dos Valores-limite relativos à qualidade do ar, deverá ser permitido deduzir as contribuições naturais de poluentes para o ar ambiente, caso estas possam ser determinadas com um grau de certeza suficiente e as excedências sejam devidas total ou parcialmente a estas contribuições naturais.”

Consideram-se, segundo o mesmo diploma legal, contribuições provenientes de fontes naturais as:

“emissões de poluentes que não são causadas direta nem indiretamente por atividades humanas, onde se incluem catástrofes naturais como erupções vulcânicas, atividade sísmica, atividade geotérmica, incêndios florestais incontrolados, ventos de grande intensidade ou a ressuspensão ou transporte atmosférico de partículas naturais provenientes de regiões secas.”

No âmbito do reporte anual à Comissão Europeia (Decisão 2011/850/CE), os Estados-Membros indicam as causas das excedências ao valor limite de PM₁₀, importando por isso identificar a contribuição devida a fontes de emissão naturais.

Caso a Comissão Europeia seja informada da existência de uma excedência ao valor limite imputável a fontes naturais, essa excedência não é considerada como tal para efeitos de avaliação de conformidade legal.

As CCDR devem elaborar listas das zonas e aglomerações onde as excedências aos Valores-limite de um determinado poluente são imputáveis a fontes naturais, em conformidade com determinadas metodologias, e reportar essa informação à APA. Esta, por sua vez, transmite essa informação à Comissão Europeia.

O Conselho da União Europeia disponibilizou em 2011 (Conselho da União Europeia, 2011) uma publicação onde se estabelecem diretrizes para a demonstração e dedução de excedências atribuídas a fontes naturais no âmbito da Diretiva 2008/50/CE, encorajando os Estados-Membros a implementar determinadas metodologias e a apresentar sob a forma de um relatório anual a documentação completa dos episódios identificados.

De acordo com o descrito no Guia para a demonstração e subtração de excedências atribuíveis a fontes naturais (Conselho da União Europeia, 2011), a quantificação da influência de eventos naturais nas concentrações de poluentes, nomeadamente, das partículas em suspensão no ar ambiente (PM₁₀ e PM_{2,5}), deve obedecer aos seguintes princípios chave:

- a) as contribuições naturais não devem ser causadas por atividades humanas diretas ou indiretas;
- b) a quantificação da contribuição natural deve ser suficientemente precisa;

- c) a quantificação da contribuição natural deve ser temporalmente consistente com o período de integração do valor limite considerado;
- d) a quantificação das fontes naturais deve ser descrita espacialmente;
- e) as contribuições da fração natural devem ser demonstradas através de um processo de avaliação sistemática.

No entanto, a atribuição de causa natural a todos os incêndios florestais não deve ser vista como uma regra aplicável a todas as situações, já que a Comissão Europeia (CE) tem desencorajado a inclusão dos incêndios como fonte natural (exceto para incêndios ocorridos fora do Estado-Membro) advogando que:

“incêndios incontrolados têm geralmente origem antropogénica e podem ser prevenidos ou controlados com ações apropriadas. Os Estados-Membros devem ter em conta as causas do incêndio ao avaliar a sua contribuição, sendo que na maioria das vezes estes não podem ser tratados nem calculados como uma fonte natural. Se um Estado-Membro registar concentrações elevadas de partículas, devido a incêndios incontrolados fora do seu território, pode ser apropriado subtrair a contribuição do incêndio do nível total de partículas para fins de conformidade.” (CUE, 2011)

Apesar de vários estudos (Witham & Manning, 2007; AQEG, 2005; Miranda, 2004; Hodzic et al., 2007; Miranda et al., 2008) terem já demonstrado o impacto de incêndios na qualidade do ar e de realçarem a sua contribuição para a excedência da concentração média diária de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , não existe um método exaustivo para a identificação e a quantificação do impacto dos episódios de incêndios desenvolvida e comunicada à CE no âmbito do relatório anual sobre a avaliação da qualidade do ar.

Na ausência de metodologias desenvolvidas e implementadas, o presente estudo pretende lançar as bases de investigação sobre esta temática, procurando avaliar a influência dos incêndios florestais na qualidade do ar de forma a estabelecer uma possível metodologia para a sua quantificação.

3. Metodologia

3.1. Aspetos metodológicos gerais

Relativamente à análise do impacto da ocorrência de incêndios nas concentrações de poluentes, o Guia para a demonstração e subtração de excedências atribuíveis a fontes naturais (Conselho da União Europeia, 2011) sugere um método baseado na comparação dos níveis de concentração, no ponto ou área de estudo, com os níveis medidos em estações rurais/remotas localizadas noutras áreas (durante a ocorrência de incêndios e fora desse período) e na análise de trajetórias de plumas, por exemplo, usando dados de satélite ou de modelação. No referido documento propõe-se ainda que se aplique uma metodologia similar à utilizada para a determinação da contribuição de poeiras do Sahara (Querol et al., 2013). A metodologia inclui os seguintes passos:

- Utilização de imagens de satélite e retro trajetórias para determinar o impacto do evento de origem natural no tempo e no espaço;
- Modelação da dispersão da pluma desde a área de origem de forma a demonstrar a relação entre os níveis elevados de PM_{10} e o evento de origem natural;
- Identificação dos 'picos' de concentrações na série de dados de partículas;
- Compilação dos dados, da mesma série temporal, relativos a estações rurais de fundo;
- Identificação dos 'picos' de concentrações de PM_{10} coincidentes em ambas as séries de dados;
- Compilação da lista de ocorrências de incêndios florestais para o mesmo período temporal;
- Determinação da contribuição devida ao episódio de incêndio:
 - A concentração média de PM_{10} registada nos 15 dias anteriores e nos 15 dias posteriores ao episódio natural, na série de dados de locais rurais de fundo, é usada como referência;
 - A diferença entre as concentrações medidas durante o episódio e nos 30 dias mencionados anteriormente (excluindo os dias de ocorrência do episódio) deve ser considerada como a contribuição devida ao episódio de incêndio;
 - No caso em que a duração do episódio é significativa (quando comparada com os 30 dias) deve ser utilizado um esquema de cálculo mais elaborado para adequadamente determinar a concentração sem a influência de incêndios;
- Determinação da extensão espacial da contribuição do incêndio: esta deve ser bem justificada através de modelação ou de retro trajetórias, de forma a verificar se a representatividade espacial das estações de monitorização utilizadas é ou não adequada para aplicação a eventos específicos.

A metodologia adotada no presente estudo teve por base as indicações anteriormente referidas, tendo-se determinado, numa primeira fase, as datas de ocorrência de incêndios florestais, áreas ardidadas e intensidade dos incêndios, após o que se obteve dados de concentrações de poluentes das estações da rede de monitorização gerida pelas CCDR, culminando finalmente com a determinação da influência

dos incêndios florestais na qualidade do ar, com a identificação das excedências ao valor limite de PM_{10} . A Figura 3.1 representa de forma esquemática a abordagem adotada que se pode resumir nos seguintes pontos:

- Inventariação dos dias para os quais se identificou a ocorrência de incêndios florestais;
- Quantificação da contribuição dos incêndios florestais para a média diária e anual de PM_{10} ;
- Análise comparativa entre área ardida relatada através do ICNF e os dados registados através do sensor MODIS;
- Avaliação da redução no número de dias em excedência ao valor limite diário de PM_{10} . De forma a averiguar os dias em excedência, foi também tida em conta a ocorrência de episódios de intrusão de poeiras provenientes do Norte de África, os quais se referirão somente como “evento natural”;
- Averiguação de quais as estações de monitorização de qualidade do ar que passam a estar em cumprimento legal, relativamente ao poluente PM_{10} ;
- Avaliação da influência de grandes incêndios na qualidade do ar de forma detalhada, através da seleção de casos de estudo, recorrendo à análise da concentração dos poluentes partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2,5}$), monóxido de azoto (NO), dióxido de azoto (NO_2) e ozono (O_3) e das trajetórias descritas pela pluma de incêndios.

Existem diversas fontes que disponibilizam dados relativos à ocorrência de incêndios em Portugal, bem como, dados de concentrações de poluentes atmosféricos, tendo-se optado por recorrer à base de dados disponibilizada pelo ICNF, mais concretamente à lista de incêndios florestais, e aos dados de qualidade do ar disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente, na plataforma de base de dados On-Line sobre Qualidade do Ar (Qualar). A análise aos incêndios florestais foi ainda complementada com dados de *Fire Radiative Power* (FRP), obtidos através do sensor MODIS e disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), na plataforma *Fire Energetics and Emissions Research* (FEER). As ferramentas de *software* utilizadas no apoio a esta análise foram o Excel e o ArcGIS.

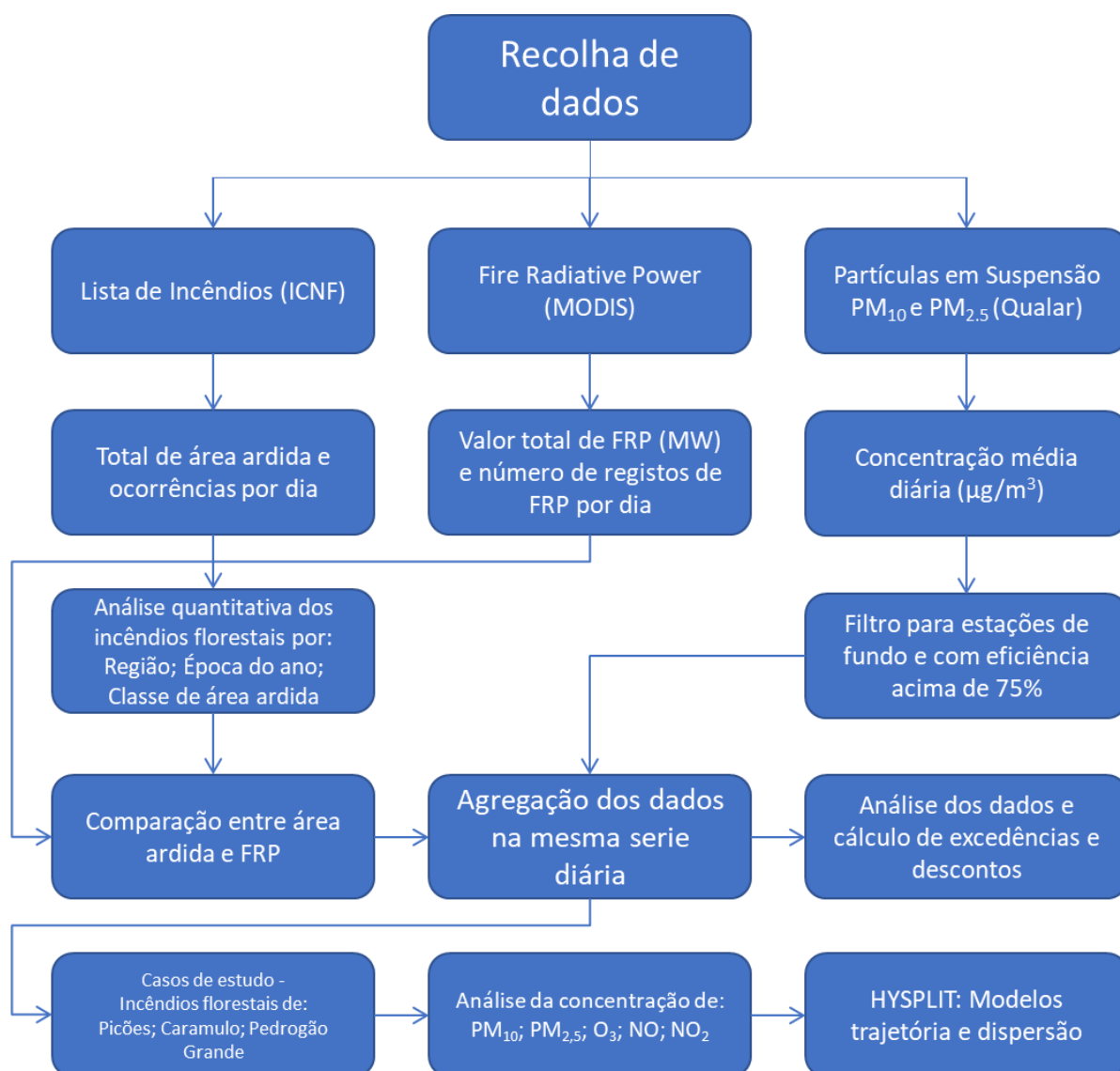


Figura 3.1 - Esquemática da metodologia utilizada

Com base nas referidas indicações metodológicas foi efetuada a análise da concentração média diária de partículas, PM_{10} e $PM_{2.5}$, para o período de 2013 a 2015. Ao estabelecer o cruzamento com os dados referentes à área ardida, foi possível calcular a concentração média das partículas PM_{10} para dias com e sem a ocorrência de eventos naturais do Norte de África e de incêndios, de forma a comparar ambos os valores obtidos. Foi ainda calculada a concentração média diária de PM_{10} para cada classe de área ardida (de acordo com o especificado em 3.2. Incêndios florestais – dados ICNF).

Posteriormente foi realizado o cálculo da quantidade de excedências ao valor limite de PM_{10} para cada estação ao longo da série de três anos e verificado qual o número final de excedências quando os dias de ocorrência de episódios naturais (incêndios florestais e eventos naturais do Norte de África) são retirados da série de dados. A Tabela 3.1 representa um exemplo retirado da série de dados, correspondente a esta etapa metodológica.

Tabela 3.1 - Exemplo do cálculo das excedências e respetivos descontos

Ano	Mês	Dia	Eventos naturais - Poeiras do Sahara						Quantidade de Ocorrências	Área Ardida Total (há)			
			Norte	Centro	LVT	Alentejo	Algarve	PT					
2013	8	21	0	1	0	1	1	1	330	13 720			
Dados referentes ao dia 21/08/2013:													
Estação					CUS	HORT	MVCO	BSTI	LACT	ERV	FORN	FUN	MOV
Concentração média diária PM ₁₀ (µg/m³)					25	20	30	23	35	25	100	30	26
Total de Excedências VL PM ₁₀					0	0	0	0	0	0	1	0	0
Total de Excedências VL PM ₁₀ após desconto de incêndio e eventos naturais do Norte de África					0	0	0	0	0	0	0	0	0

De acordo com a regra de cálculo estipulada legalmente, verifica-se uma excedência ao valor limite diário sempre que a concentração média diária de PM₁₀ for superior a 50 µg/m³. De acordo com o indicado na Tabela 2.1 do subcapítulo 2.4.2. Enquadramento legislativo, este valor não deve exceder mais que 35 dias por ano, por estação.

De forma a determinar o impacto da contribuição dos incêndios e dos eventos naturais do Norte de África no total de excedências ao valor limite de PM₁₀ foi aplicado o desconto para os dias em que se verificam pelo menos uma das seguintes condições:

- existência de evento natural na região associada à estação;
- ocorrência de um conjunto de incêndios, num determinado dia, cujo somatório de área ardida seja superior a 100 ha. A referência aos 100 ha deriva de uma análise de sensibilidade efetuada às concentrações de partículas, tendo-se verificado uma influência significativa na concentração de partículas para a classe de área ardida de 50 ha a 100 ha.

Na aplicação da metodologia aos casos de estudo, primeiramente foram selecionados os incêndios florestais de Picões e do Caramulo, os quais se encontram inseridos dentro do período estudado. Para além destes, foi também escolhido o incêndio florestal de Pedrogão Grande. Estes incêndios foram escolhidos devido, principalmente, à dimensão da sua área ardida e aos impactes socioeconómicos e de qualidade do ar. No caso de Pedrogão Grande, ocorrido no ano de 2017 e fora do período de análise (de 2013 a 2015), optou-se pela sua inclusão no estudo dada a sua dimensão e severidade, ressaltando-se o carácter de análise indicativa, já que se recorreu a dados não validados de qualidade do ar (sendo que os dados validados não estavam disponíveis à data de elaboração do presente estudo).

As áreas ardidas relativas a cada caso de estudo, bem como os respetivos pontos de FRP, foram determinados e representados através da utilização do *software* ArcGIS. Os pontos de FRP selecionados irão indicar a energia emitida pelo poder radiativo do incêndio ao longo deste período, em que, deste modo será se torna fácil a identificação dos dias em que o incêndio florestal foi mais intenso.

A metodologia utilizada para a análise das concentrações médias de PM₁₀ e PM_{2,5}, para o período de 2013 a 2015 foi replicada para as concentrações médias de NO, NO₂ e O₃, de forma a obter as variações de concentração dos poluentes.

Relativamente à análise dos episódios de incêndio, e face às indicações metodológicas anteriormente mencionadas (constantes no documento de referência (Conselho da União Europeia, 2011), centrou-se a duração do incêndio num período de 31 dias (Figura 3.2), determinando-se as concentrações nos períodos anteriores (identificado na figura como primeiro período), posteriores (identificado na figura como terceiro período) e de ocorrência do mesmo (identificado na figura como segundo período - incêndio). A diferença entre as concentrações medidas durante o episódio e nos períodos sem ocorrência de incêndio foi considerada como a contribuição devida ao episódio de incêndio.

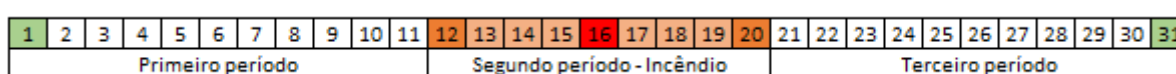


Figura 3.2 - Representação esquemática do período de análise de 31 dias.

3.2. Incêndios florestais – dados ICNF

A lista de incêndios florestais do ICNF possui diversos parâmetros importantes para a realização deste trabalho, tais como o local da ocorrência (com a respetiva freguesia, concelho e distrito), a data e hora de alerta, a quantidade de área ardida (povoamento, mato e agrícola).

Com base na lista de incêndios florestais recolhida na plataforma do ICNF foi então elaborada uma série diária com a duração de dia 1 de janeiro de 2013 a dia 31 de dezembro de 2015, a qual será a base do trabalho elaborado posteriormente.

Foi realizada uma listagem das regiões atribuídas a cada concelho, de acordo com as áreas NUTS II, de forma a ser possível subdividir as ocorrências e área ardida por cada região, conferindo uma base de trabalho para uma posterior análise quantitativa e qualitativa.

Na série diária é estabelecido o somatório das ocorrências e áreas ardidas das zonas classificadas como “Povoamento”, “Mato” e “Agrícola” para cada dia da série de três anos, onde após tal, é possível subdividir por região ou por época do ano. Para estabelecer uma relação entre as ocorrências e a área ardida, foram criadas diversas classes representativas da área consumida por cada ocorrência, em que estas estão divididas pelas seguintes classes: de 0 a 1 hectare, de 1 a 10 hectares, de 10 a 50 hectares, de 50 a 100 hectares, de 100 a 500 hectares e acima de 500 hectares.

3.3. Incêndios florestais – dados de FRP

Os valores de FRP obtidos a partir do sensor MODIS, que se encontram nos satélites *Aqua* e *Terra* são uma ótima ferramenta para descrever a intensidade de um incêndio ao longo do seu ciclo de vida, pois, este parâmetro fornece informações sobre a saída de calor radiante nos incêndios ativos.

Os dados obtidos relativos ao FRP foram requeridos na plataforma da NASA e são fornecidos em formato de Excel e em formato de Raster, o qual pode ser utilizado no software ArcGIS. Os dados possuem diversos parâmetros, sendo os utilizados: data, hora, coordenadas e FRP. Deste modo, recorrendo ao formato para uso no ArcGIS, foi possível subdividir os valores de FRP por regiões utilizando a ferramenta *intersect*.

Posteriormente é utilizada a soma dos valores de FRP para cada dia, de forma a poder quantificar o valor total. Deste modo, a integração do FRP na série anual servirá para fornecer uma estimativa acerca do total de energia radiativa emitida (MW) pelos incêndios em Portugal Continental. O uso do FRP servirá então para corroborar os dados do ICNF e também para verificar os dias com maior intensidade de fogo nos casos de estudo, de forma a compreender a influência do incêndio florestal nas estações de monitorização da qualidade do ar.

3.4. Dados de qualidade do ar

Dado que se pretende avaliar a influência dos incêndios florestais ao nível dos poluentes atmosféricos, principalmente ao nível das PM_{10} e $PM_{2,5}$, para este fim foram somente utilizadas as estações de fundo, uma vez que estas não são influenciadas por um tipo específico de fonte de emissão em particular, detetando variações anómalas quando se dá a ocorrência de um evento natural que influencie a concentração de poluentes no ar ambiente.

As estações de fundo enquadram-se em três tipos de ambiente envolvente: rural, suburbano e urbano. A Figura 3.3 representa a localização das estações de fundo em Portugal Continental.

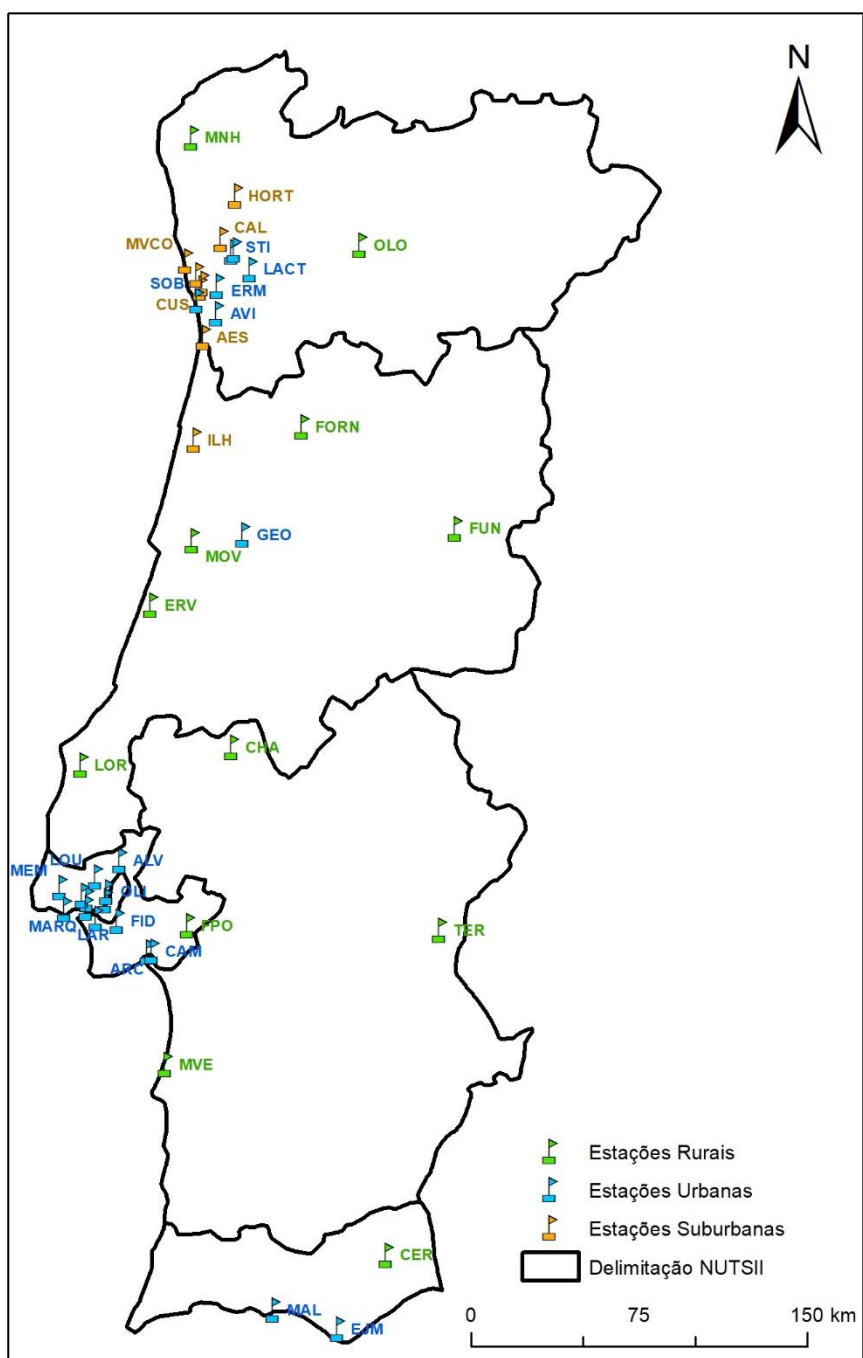


Figura 3.3 - Localização das estações de fundo em Portugal Continental

Na Tabela 3.2 são apresentadas as estações de monitorização da qualidade do ar, com tipo de influência de fundo, utilizadas no decorrer do presente trabalho.

Tabela 3.2 - Estações de monitorização da qualidade do ar, com influência de Fundo (Adaptado de Qualar, 2017)

Região	Zonas	Zona (Z) / Aglomeração (A)	Estação	Abreviatura	Tipo de Ambiente
Norte	Entre Douro e Minho	A	Burgães-Santo Tirso	BSTI	Urbana
		A	Calendário	CAL	Suburbana
		A	Frossos-Braga	HORT	Suburbana
		A	Paços de Ferreira	LACT	Urbana
		A	Santo Tirso	STI	Urbana
	Porto Litoral	A	Anta-Espinho	AES	Suburbana
		A	Avintes	AVI	Urbana
		A	Custóias-Matosinhos	CUS	Suburbana
		A	Ermesinde-Valongo	ERM	Urbana
		A	Leça do Balio-Matosinhos	LEC	Suburbana
		A	Mindelo-Vila do Conde	MVCO	Suburbana
		A	Sobreiras-Lordelo do Ouro	SOB	Urbana
		A	VNTelha-Maia	VNT	Suburbana
	Norte Interior	Z	Douro Norte	OLO	Rural
	Norte Litoral	Z	Minho-Lima	MNH	Rural
Centro	Aveiro/Ílhavo	A	Ílhavo	ILH	Suburbana
	Coimbra	A	Instituto Geofísico de Coimbra	GEO	Urbana
	Centro Interior	Z	Fornelo do Monte	FORN	Rural
		Z	Fundão	FUN	Rural
	Centro Litoral	Z	Ervedeira	ERV	Rural
		Z	Montemor-o-Velho	MOV	Rural
Lisboa e Vale do Tejo	AML Norte	A	Alfragide/Amadora	ALF	Urbana
		A	Alverca	ALV	Urbana
		A	Beato	BEA	Urbana
		A	Loures-Centro	LOU	Urbana
		A	Quinta do Marquês	MARQ	Urbana
		A	Mem Martins	MEM	Urbana
		A	Olivais	OLI	Urbana
		A	Reboleira	REB	Urbana
		A	Restelo	REST	Urbana
	AML Sul	A	Fidalguinhos	FID	Urbana
		A	Laranjeiro	LAR	Urbana
	Setúbal	A	Arcos	ARC	Urbana
		A	Camarinha	CAM	Urbana
	Oeste, Vale do Tejo e Península de Setúbal	Z	Chamusca	CHA	Rural
		Z	Fernando Pó	FPO	Rural
		Z	Lourinhã	LOR	Rural
Alentejo	Alentejo Interior	Z	Terena	TER	Rural
	Alentejo Litoral	Z	Monte Velho	MVE	Rural
Algarve	Aglomeração Sul	A	Joaquim Magalhães	EJM	Urbana
		A	Malpique	MAL	Urbana
	Algarve	Z	Cerro	CER	Rural

De acordo com o Anexo II do Decreto-Lei n.º 102/2010 a recolha de dados anual deve ser no mínimo de 90% para que se considere que existiu medição em contínuo, no entanto, segundo o Guidance on the Annexes to Decision 97/101/EC on Exchange of Information as revised by Decision 2001/752/EC for the European Commission (Comissão Europeia, 2002), tendo em conta que a manutenção e calibração dos aparelhos pode representar uma perda de 5% dos dados, a eficiência mínima anual

requerida para se considerar que há monitorização em contínuo é reduzida para 85%, sendo que, abaixo desse valor, as medições são consideradas como indicativas (Conselho da União Europeia, 2018). No decorrer da análise dos dados de qualidade do ar verificou-se que a imposição de uma eficiência mínima de 85% levaria à rejeição de um número considerável de séries anuais de dados. Assim, optou-se por reduzir a eficiência mínima para os 75% de dados anuais por estação.

3.5. Dados de ocorrência de eventos naturais de transporte de poeiras

Após a filtragem das estações com as eficiências pretendidas foi possível agregar a área ardida, FRP e concentração média diária das partículas PM₁₀ e PM_{2,5} na mesma folha de cálculo. Em adição, foi utilizada a série diária para o período de análise com identificação dos episódios de intrusão de poeiras provenientes do Norte de África, a qual identifica os dias com ocorrências deste tipo de evento natural e quais as regiões que estão sob a sua influência. Esta listagem de eventos naturais com origem nos desertos do Norte de África foi adaptada dos relatórios de Identificação e Avaliação de Eventos Naturais dos anos de 2013, 2014 e 2015 em Portugal (Agência Portuguesa do Ambiente, 2013; Agência Portuguesa do Ambiente, 2014; Agência Portuguesa do Ambiente, 2015)

3.6. Extensão espacial da contribuição de incêndios – modelação da dispersão e trajetória da pluma

De forma a corroborar e compreender os dados obtidos em termos de concentrações médias dos demais poluentes analisados, recorreu-se aos modelos de trajetórias e dispersão HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory*) da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), os quais podem ser acedidos na sua plataforma *on-line*. Estes modelos permitem determinar o alcance e influência de um incêndio florestal, através da projeção da sua área de dispersão/trajetória num determinado intervalo de tempo. O produto derivado de ambos os modelos pode ser exportado como imagem ou *shapefile*, permitindo sobrepor com a localização das estações da rede de monitorização da qualidade do ar e verificar a influência da pluma do incêndio sobre estas.

O módulo HYSPLIT *Trajectory Model* foi utilizado para caracterizar a posição das partículas da pluma para o período total de duração de cada incêndio. O módulo HYSPLIT *Dispersion Model*, uma vez que está restrito a resultados de simulação de 24h de duração, apenas foi utilizado nos dias em que se verificaram ‘picos’ de aumento das concentrações de partículas, tendo sido utilizado para representação da área de dispersão da pluma e influência sobre a localização das estações de monitorização.

3.7. Dados Meteorológicos

De forma a estudar a possível influência de parâmetros meteorológicos na ocorrência de incêndios e qualidade do ar foram utilizados os dados das estações meteorológicas do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA). As estações utilizadas foram selecionadas de acordo com a sua proximidade aos incêndios relacionados com os casos de estudo, tendo sido selecionada pelo menos uma estação por

região. Foram então utilizadas as estações de: Vila Real (região Norte), Castelo Branco (região Centro), Santarém (região LVT), Pegões (região LVT), Elvas (região Alentejo) e Alcoutim (região Algarve).

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização climatológica no período de 2013 a 2015

Durante o período designado no âmbito deste estudo, Portugal Continental foi caracterizado por uma evolução tendencial dos valores de temperatura média, em que estes foram superiores ao valor médio do período de 1971-2000, culminando em 2015, ano considerado extremamente seco e muito quente. Os valores médios da temperatura média do ar aumentaram consecutivamente ao longo dos três anos de estudo, com valores de 15,4 °C em 2013 (IPMA, 2013c), 15,8 °C em 2014 (IPMA, 2015a) e 16,0 °C em 2015, sendo que neste último ano, o valor médio da temperatura máxima do ar atingiu os 21,9 °C, tendo sido, até a data, o valor mais elevado dos últimos 18 anos (IPMA, 2015b).

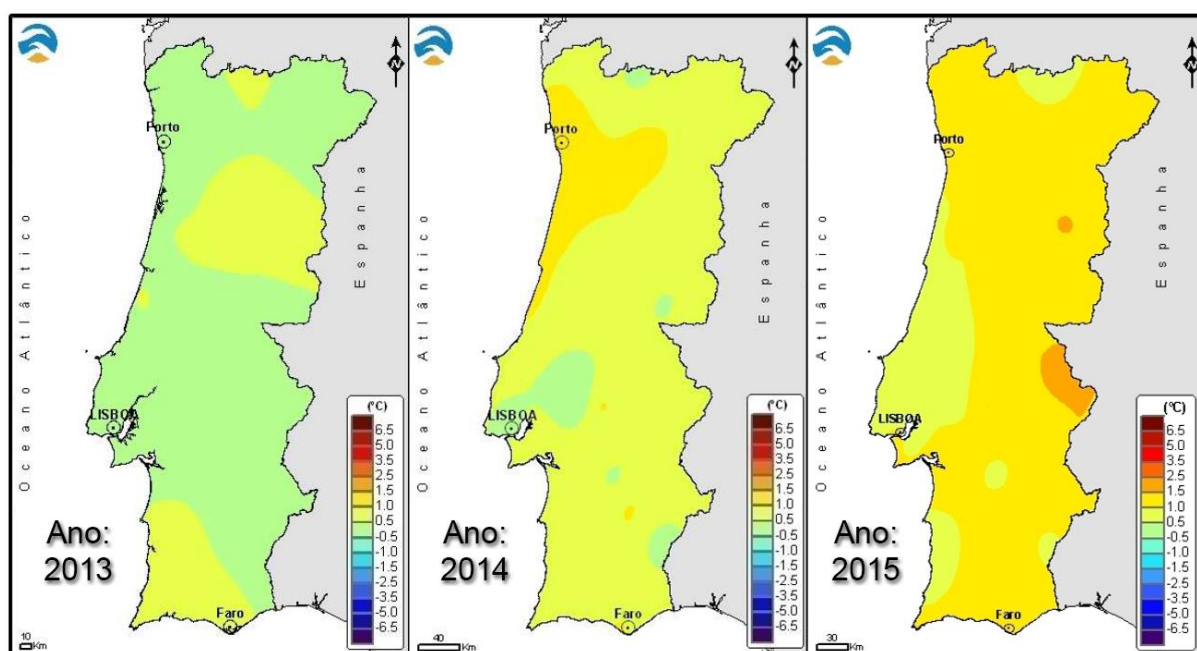


Figura 4.1 - Distribuição espacial da anomalia da temperatura média anual em relação ao valor médio 1971-2000 para os anos de 2013, 2014 e 2015 (Adaptado de IPMA, 2013c; IPMA, 2015a; IPMA, 2015b)

Ao longo dos três anos em análise, a precipitação total anual foi bastante inconstante. Segundo o Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), o ano de 2013 obteve um valor médio de precipitação total anual de 939 mm, o qual corresponde a um aumento de 57 mm em relação ao valor médio no período de 1971-2000 (IPMA, 2013c). Em 2014, o valor médio de precipitação total anual foi mais elevado, com uma quantidade média de 1098 mm, o qual corresponde a um aumento de 216 mm em relação ao valor médio no período de 1971-2000, tendo sido até a data, o valor de quantidade de precipitação mais elevado dos últimos 25 anos (IPMA, 2015a). Por fim, no ano de 2015, assistiu-se a uma inversão da quantidade média de precipitação em relação ao valor médio do período de 1971-2000, com um deficit de 283 mm, o que se traduz num valor médio de precipitação total anual de 600 mm, tendo sido, portanto, um ano bastante seco (IPMA, 2015b).

4.2. Incêndios florestais ocorridos entre 2013 e 2015

4.2.1. Ocorrências registadas pelo ICNF

Durante os anos de 2013 a 2015, Portugal foi bastante flagelado por incêndios florestais de proporções acima do habitual, causando a destruição de uma grande área de coberto vegetal. De forma a entender a magnitude destes eventos durante este período, a Figura 4.2 demonstra o número de ocorrências registadas pelo ICNF, em território nacional.

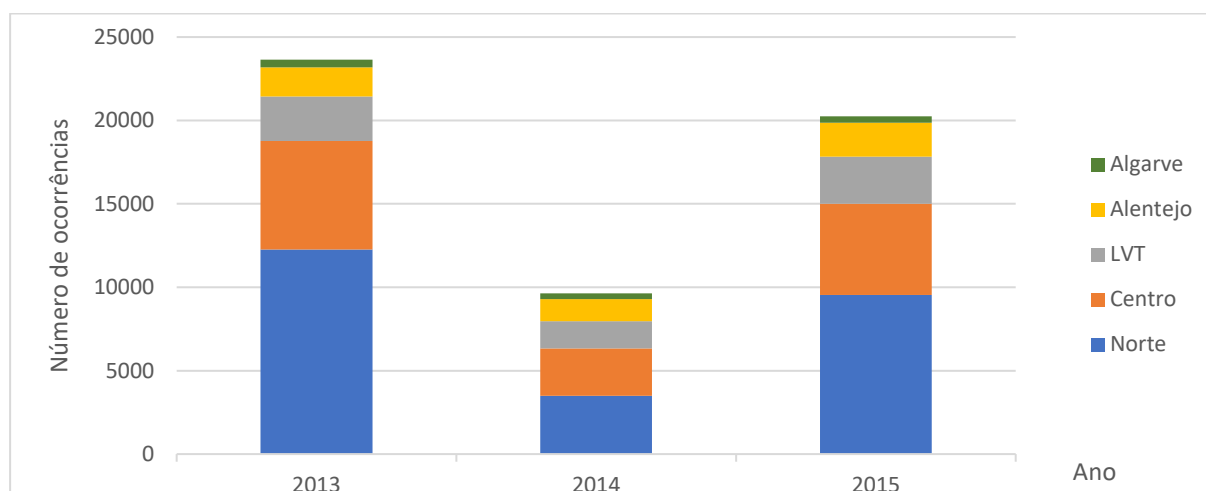


Figura 4.2 - Número de ocorrências por ano

Nesta análise estão implícitas todas as ocorrências (com dimensões inferiores 1 hectare, assim como superiores a 1 hectare) para uma série diária de três anos (2013 a 2015). É possível verificar que 2013 foi o ano com o maior número de ocorrências, perfazendo um total de 23 644 fogos, sendo que as regiões Norte e Centro foram as que registaram um maior número de ocorrências, 12 273 e 6 496 fogos respetivamente. O ano de 2015 foi muito semelhante ao ano de 2013 em termos de ocorrências, onde se registaram 20 250 fogos. Seguindo a mesma tendência que 2013, as regiões Norte e Centro foram as mais afetadas, com 9 533 e 5 476 fogos respetivamente.

Em termos de área ardida, a Figura 4.3 representa a quantidade total de área ardida por ano, ao longo dos três anos em estudo.

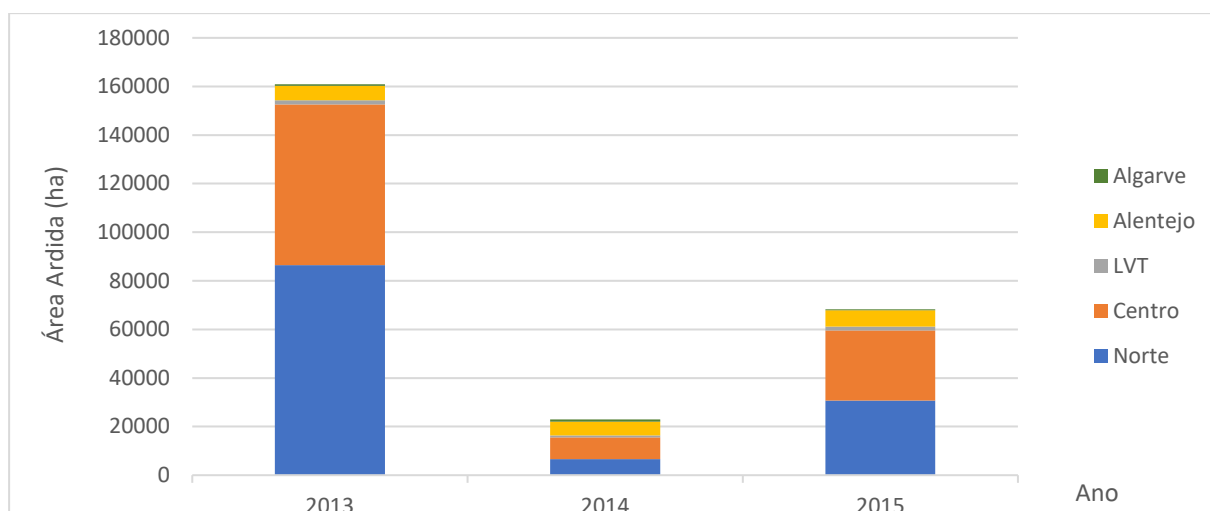


Figura 4.3 - Total de área ardida por região por ano

Do período estudado no presente trabalho, 2013 foi o ano mais afetado em termos de incêndios florestais, em que foram consumidos cerca de 160 876 ha. Revela-se que em 2013, as regiões Norte e Centro foram severamente afetadas, em que foram registados 86 482 e 66 160 ha de área ardida, respetivamente. Em termos de representatividade, este montante de área ardida refere-se a 4% da área da região Norte e 3% da região Centro, quando comparando com as respetivas áreas totais de ambas as regiões. Já nos anos de 2014 e 2015 obteve-se um valor total de área ardida de 22 929 e 68 332 ha Apesar de o ano de 2015 ter sido o ano mais quente (16°C de temperatura média do ar), não foi, contudo, o ano que possuiu mais ocorrências de incendio e área ardida. É de salientar que as regiões Norte e Centro, ao longo dos três anos do período estudado, possuem uma representatividade em termos totais de área ardida de 123 806 ha e 104 077 ha respetivamente, o qual se traduz em 90% do total de área ardida registada para os três anos.

Durante o ano de 2013, o maior pico de atividade deu-se durante os meses de julho, agosto e setembro, registando-se um total de ocorrências de 4 078, 7 658 e 5 432 fogos respetivamente, como é possível observar na Figura 4.4.

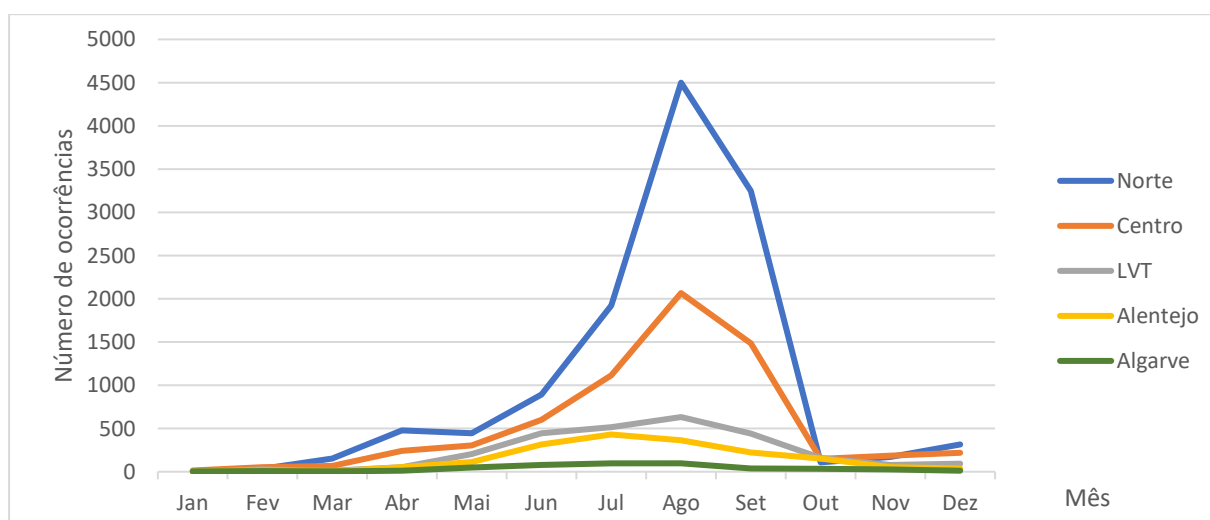


Figura 4.4 - Número de ocorrências por região em 2013

Durante este ano, como referido anteriormente, as regiões Norte e Centro foram as regiões com um maior número de ocorrências, possuindo uma tendência muito semelhante e cujos picos se verificaram durante o mês de agosto, com 4 499 e 2 066 fogos respetivamente. Em semelhança, as regiões Norte e Centro obtiveram valores de área ardida elevados durante o mês de agosto (Figura 4.5), onde foram registados 53 825 ha de área ardida na região Centro e 47 025 ha de área ardida na região Norte.

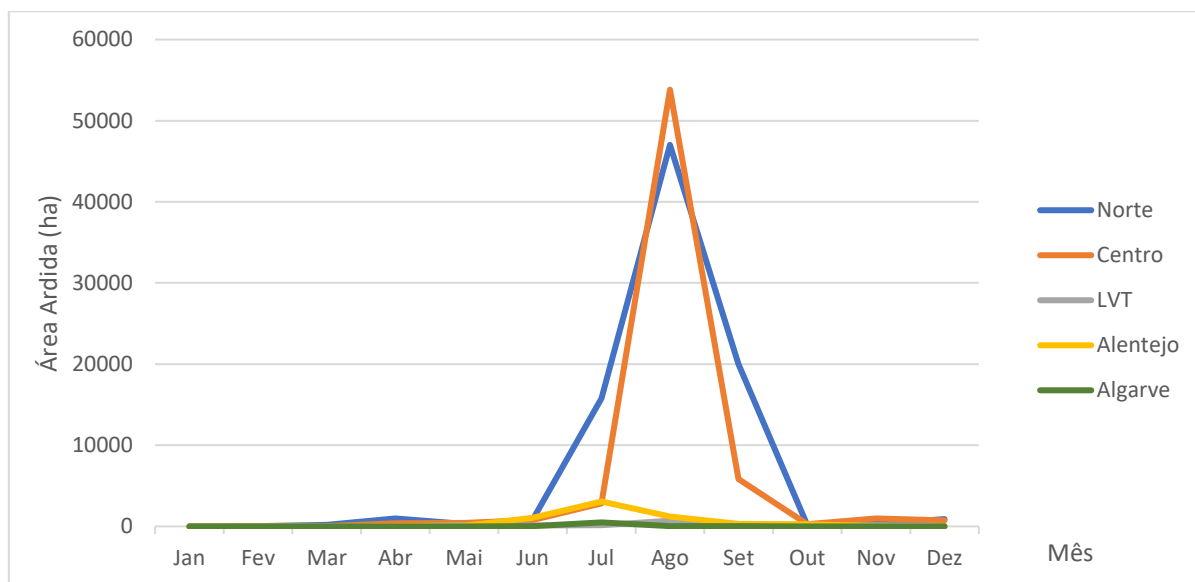


Figura 4.5 - Área ardida por região em 2013 (ha)

O ano de 2014 foi um ano relativamente calmo em termos de incêndios florestais, sendo que existe uma maior dispersão das ocorrências ao longo do ano, como é possível verificar na Figura 4.6. O maior foco de atividade situa-se durante os meses de maio a setembro, em que se registou 9 243 fogos em Portugal Continental, ao longo deste período.

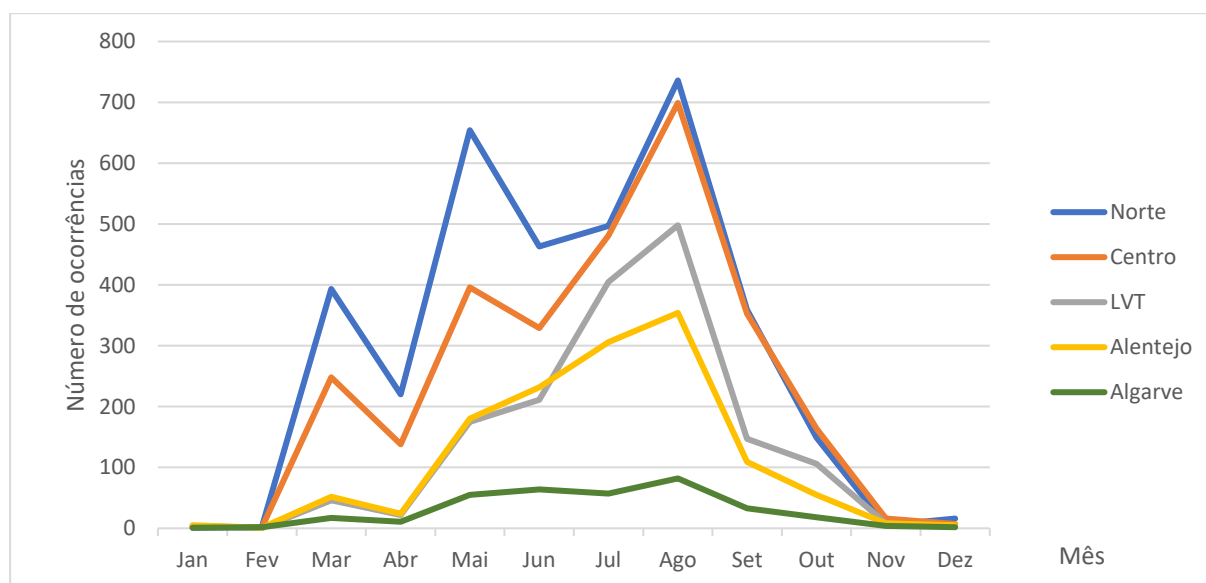


Figura 4.6 - Número de ocorrências por região em 2014

O valor mensal máximo de ocorrências não excede os 736 fogos, sendo este o valor registado para a região Norte no mês de agosto, a região Centro possui também um valor aproximado de ocorrências

durante este mês, com 699 fogos. Já a Figura 4.7 demonstra a área ardida por região em 2014, e destaca-se a região do Alentejo no mês de agosto obteve valores relativamente elevados de Área ardida, quando em comparação ao resto do ano e as restantes regiões, tendo sido registados 3 744 há de área ardida.

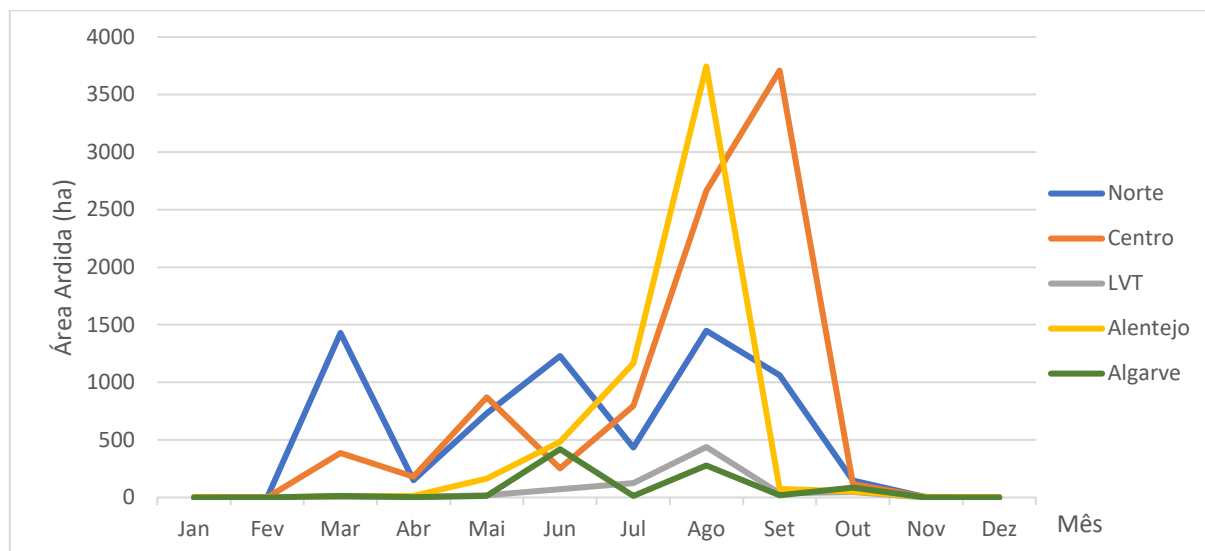


Figura 4.7 - Área ardida por região em 2014 (ha)

O ano de 2015 voltou a ser um ano com uma maior atividade de incêndios florestais, não sendo, contudo, tão grave como o ano de 2013. Como é possível verificar na Figura 4.8, foram observados dois picos de maior atividade de incêndios florestais, durante os meses de março e abril, onde se registaram 3 964 fogos. O segundo pico de atividade situa-se nos habituais meses de incêndios florestais, ou seja, no período de junho a setembro, onde foram registados 12 631 fogos.

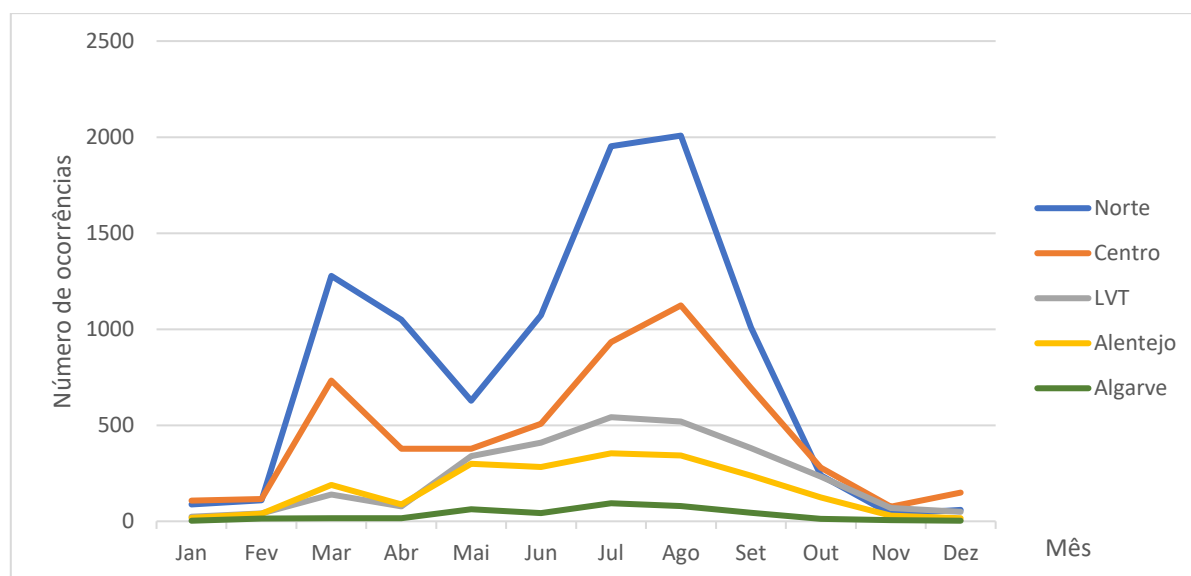


Figura 4.8 - Número de ocorrências por região em 2015

A região Norte foi a mais afetada neste ano, durante os meses de julho e agosto onde se verificou um repentino pico de atividade, tendo-se registado 1 278 e 1 049 fogos respetivamente. A região Centro, apesar de relatar um valor inferior de ocorrências de incêndios florestais, nota-se que segue a mesma

tendência em relação a região Norte, o qual se pode corroborar na Figura 4.9, em que a área ardida segue também a mesma tendência, sendo que no mês de agosto existe um pico de área ardida mais acentuado, chegando aos 16 131 ha consumidos pelos incêndios.

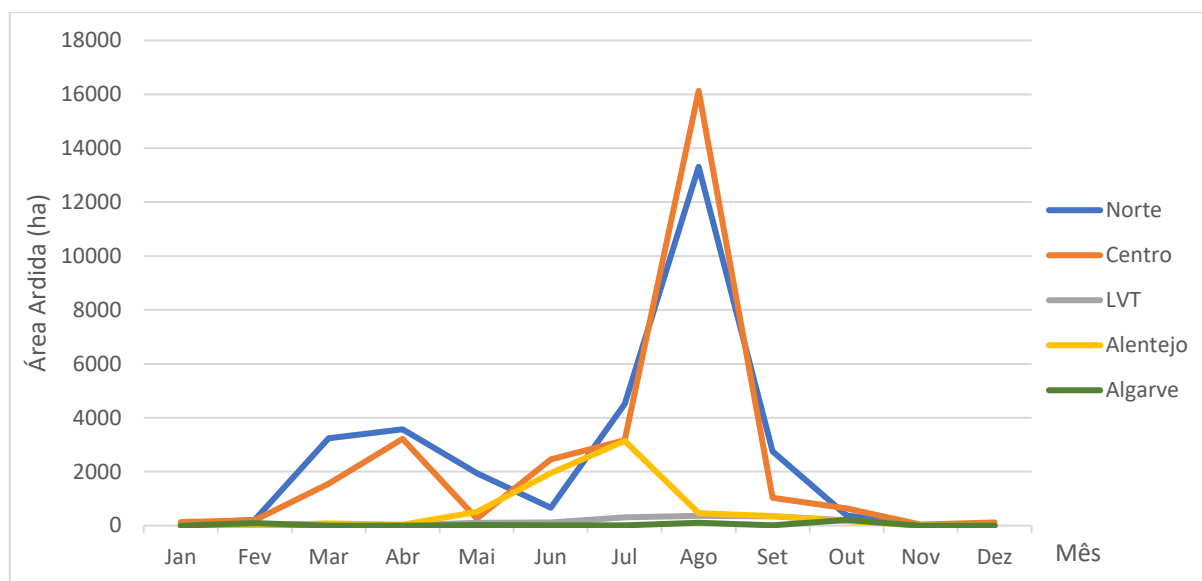


Figura 4.9 - Área ardida por região em 2015 (ha)

Elaborando um apanhado dos três anos de estudo em relação a estes dois parâmetros (Figura 4.10), é possível verificar que a quantidade de ocorrências ao longo do ano está bastante relacionada com a quantidade de área ardida.

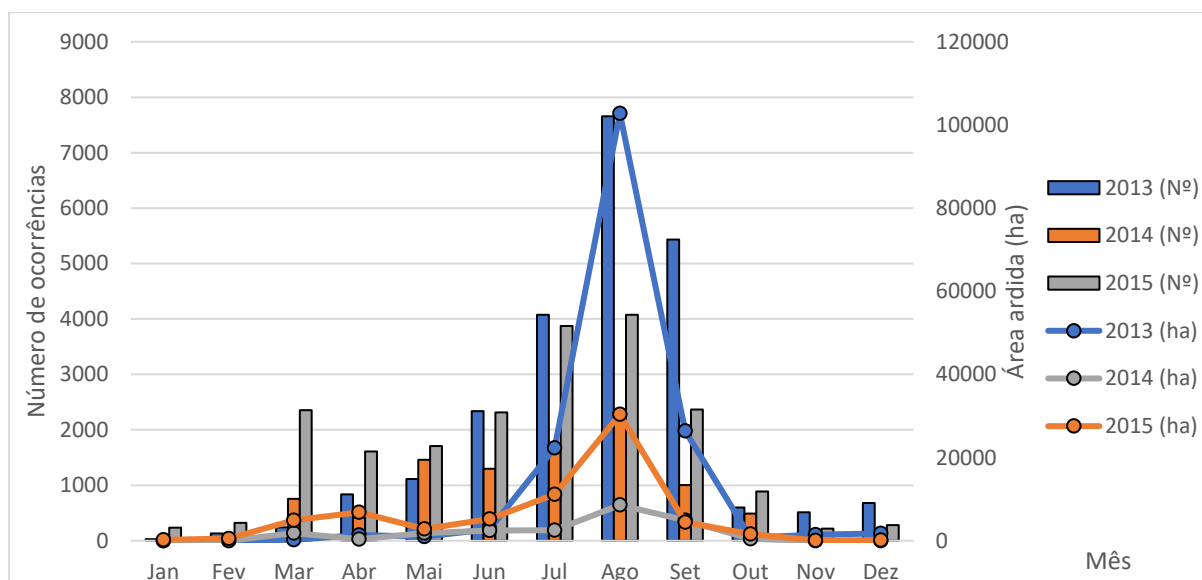


Figura 4.10 - Comparação entre número de ocorrências e área ardida

Contudo, apesar do número de ocorrências poder influenciar a quantidade de área ardida, uma só ocorrência pode dar origem um grande incêndio florestal, o que fará aumentar os valores de área ardida em comparação as ocorrências registadas.

De forma a conseguir observar em melhor detalhe a relação entre as ocorrências e a área ardida, foram estabelecidas várias classes de área ardida para ajudar nesta análise. A Figura 4.11 representa o número de ocorrências e a área ardida.



Figura 4.11 - Número de ocorrências por classe de área ardida para o período de análise

Durante este período de análise, cerca de 99% das ocorrências registadas são incêndios inferiores a 100 ha, os quais correspondem a somente 27% de área ardida. Contudo, em relação aos incêndios acima dos 100 ha, a relação entre ambos os gráficos demonstra a sua verdadeira importância, pois, apesar destes representarem somente cerca de 1% das ocorrências durante os anos de 2013 a 2015, a sua representatividade em relação a área ardida atinge cerca de 73%.

Efetuada a análise de classes de área ardida por região, no ano de 2013, verifica-se que as regiões Norte e Centro obtiveram valores muito elevados de área ardida acima de 100 ha em comparação as restantes regiões, representando cerca de 78% de área ardida em Portugal, como possível observar na Figura 4.12. Este valor de área ardida traduz-se em aproximadamente 1% de ocorrências.

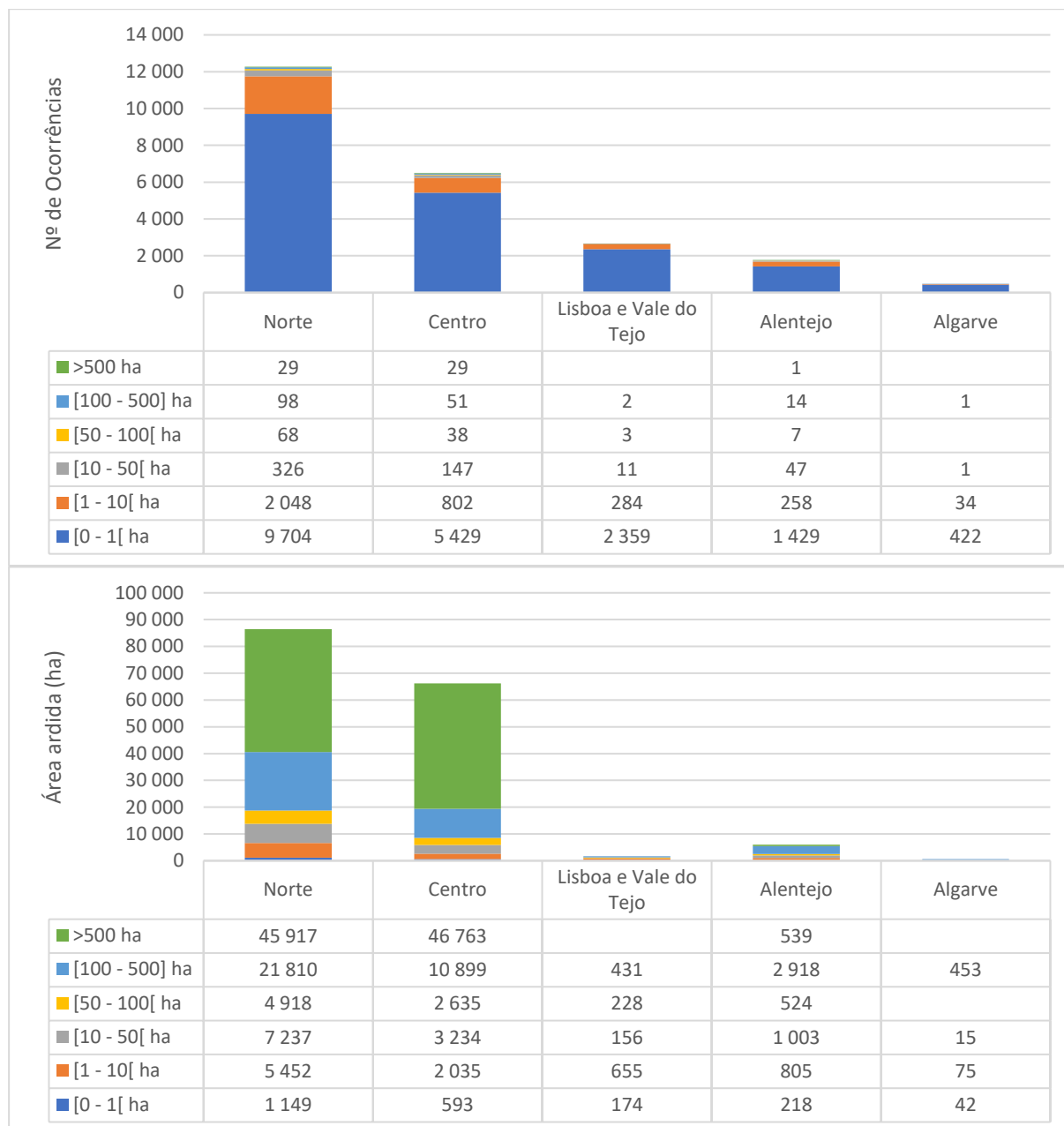


Figura 4.12 - Número de ocorrências área ardida por intervalos por região em 2013

Os incêndios inferiores a 100 ha corresponderam a 99% das ocorrências registadas pelo ICNF. Estas 27 147 ocorrências, deram origem a somente 19% da área ardida em Portugal Continental. Para incêndios acima dos 100 ha, em termos percentuais, a quantidade de ocorrências é muito baixa (aproximadamente 1% do valor total), o que em termos de área ardida se traduz em 81% do valor total.

O ano de 2014 possuiu valores de área ardida e ocorrências bastante inferiores ao ano anterior, e, verificou-se que as regiões mais afetadas neste ano foram, por ordem, a região Centro, Norte e Alentejo, como possível verificar na Figura 4.13.

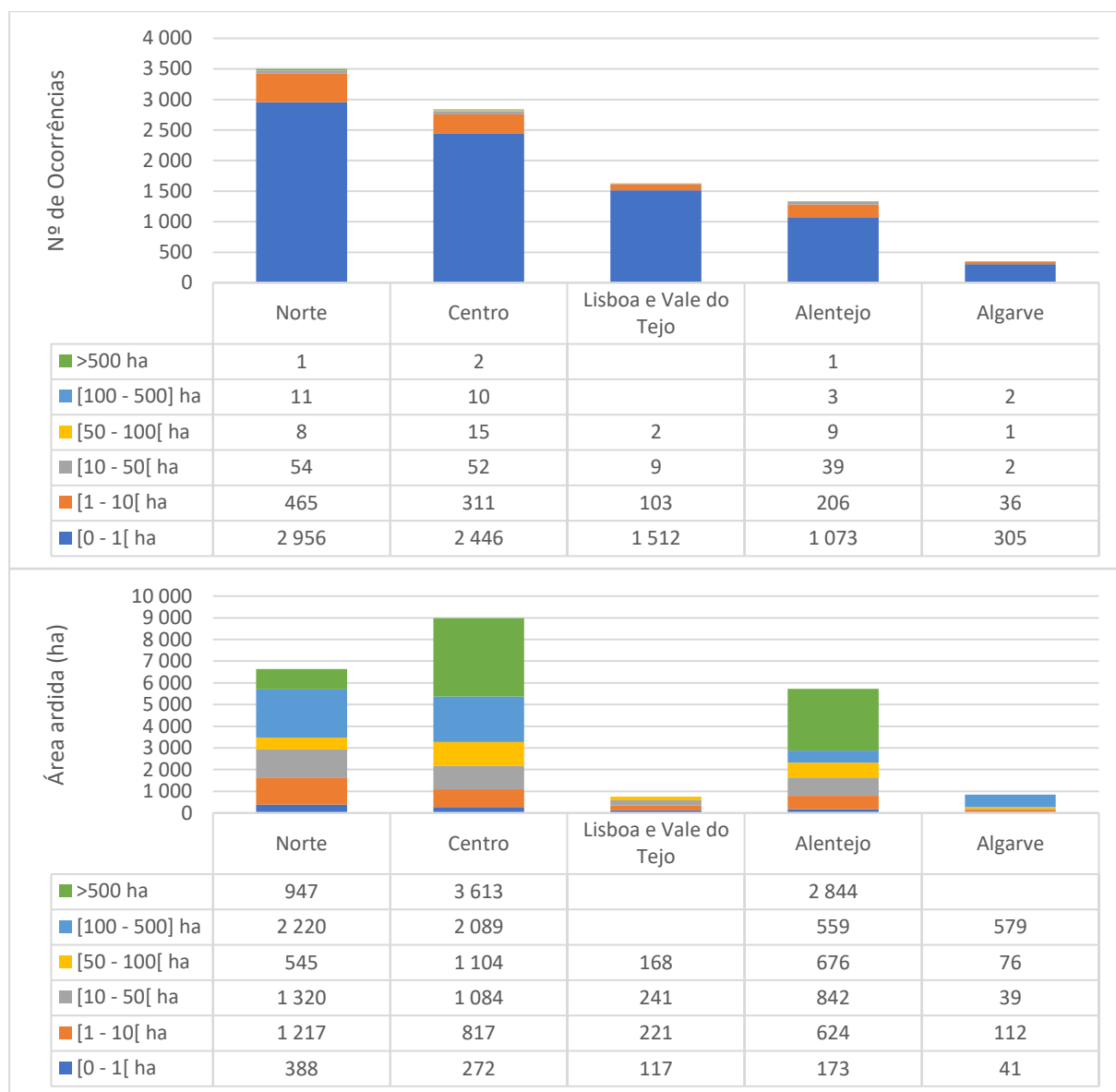


Figura 4.13 - Número de ocorrências área ardida por intervalos por região em 2014

Apesar de a região LVT ter registado cerca de 17% das ocorrências a respetiva área ardida foi bastante inferior as restantes regiões, com uma representatividade de somente 1%, demonstrando que se tratava de incidências de pequena dimensão. Foi ainda possível verificar que existiu uma maior distribuição de área ardida respetivamente aos intervalos definidos em comparação com o ano anterior, em que a área ardida superior a 100 ha representa cerca de 56% da área ardida total, o que por sua vez se traduz em cerca de 0,3% em termos de ocorrências.

Por fim, no ano de 2015, verificou-se novamente um aumento de ocorrências e área ardida, em relação ao ano anterior, e seguiu um padrão semelhante ao ano de 2013, como é possível verificar na Figura 4.14. As regiões Norte e Centro voltam a ter uma maior representatividade em termos de área ardida, com cerca de 56%, o que em termos de ocorrências se traduz em aproximadamente 6%.



Figura 4.14 - Número de ocorrências área ardida por intervalos por região em 2015

Relativamente a 2015, em comparação ao ano de 2013, é possível verificar que a região Centro possuiu um maior peso em termos de área ardida superior a 100 ha, com uma representatividade de aproximadamente 33% de área ardida desse mesmo ano. Ainda em comparação aos anos anteriores, notou-se um aumento da área ardida superior a 100 ha para a região do Alentejo. A representatividade da área ardida superior a 100 ha neste ano foi na ordem dos 62%, o que por sua vez se traduz em cerca de 0,45% de ocorrências.

De modo a compreender onde se situam as incidências em Portugal Continental, foram elaborados dois mapas que demonstram a distribuição do valor total de ocorrências e somatório de área ardida a nível distrital para a totalidade do período de análise (Figura 4.15).

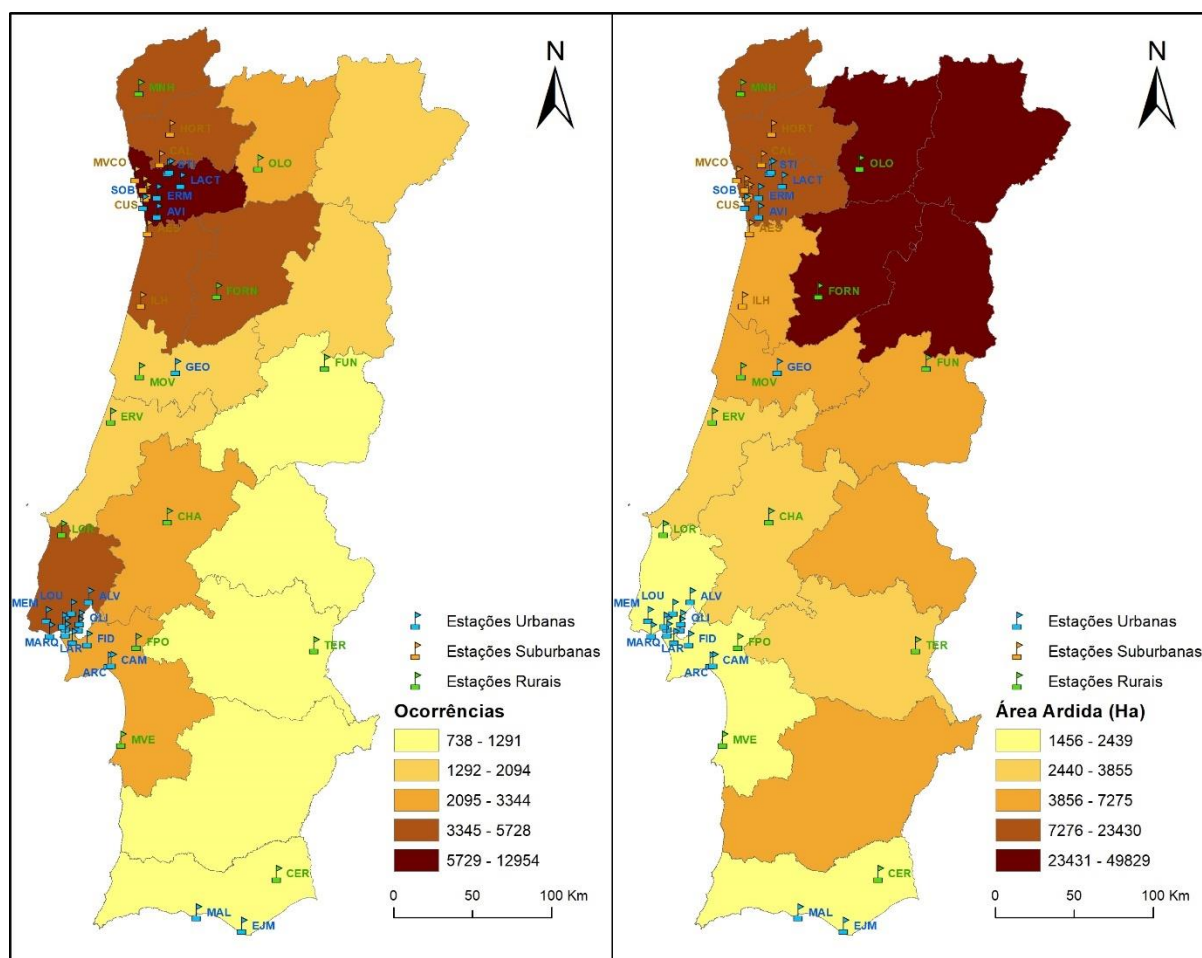


Figura 4.15 - Distribuição de ocorrências e área ardida a nível distrital no período de 2013 a 2015

Constata-se que o maior número de ocorrências se situa nas regiões urbanas e densamente povoadas do litoral de Portugal Continental. Devido a um menor tempo de resposta e maior disponibilidade de meios nas grandes aglomerações urbanas, a extensão dos incêndios e consequente área ardida é diminuta. Em contraste, no interior de Portugal Continental, a quantidade de ocorrências é inferior, mas causam uma maior extensão de área ardida. Neste caso, estabelecendo uma conexão entre as ocorrências e estações de qualidade do ar, é possível identificar quais as estações que poderão detetar mais facilmente alterações a nível das concentrações de poluentes.

4.2.2. Ocorrências detetadas pelo MODIS

Numa análise semelhante relativamente aos dados obtidos pelo ICNF foi obtida a quantidade de registos de FRP para os dados obtidos através do sensor MODIS, representados na Figura 4.16.

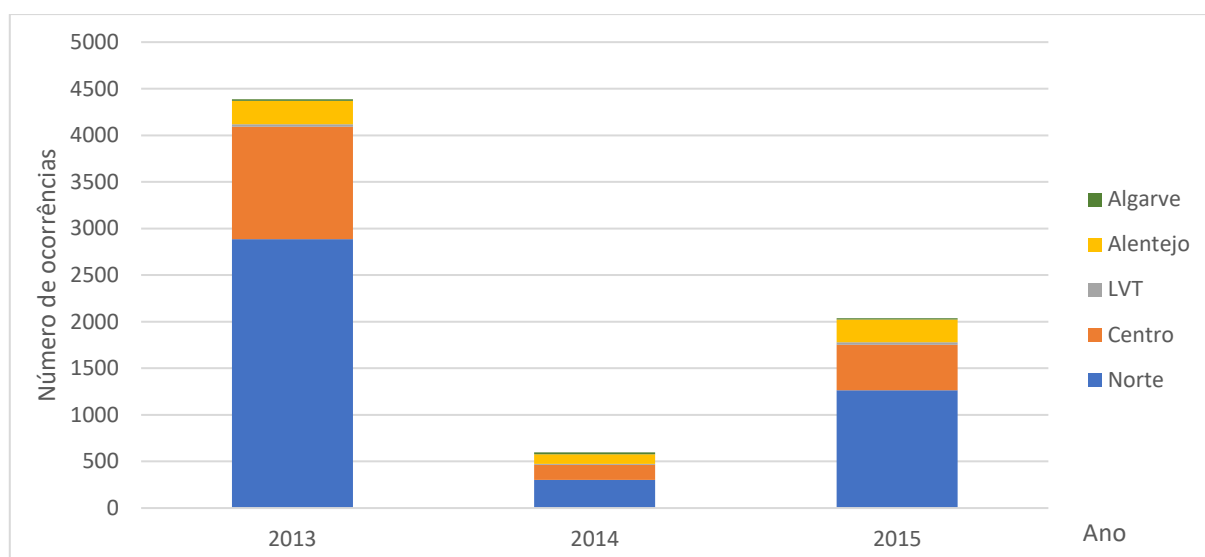


Figura 4.16 - Número de registos de FRP

À semelhança do número de ocorrências de incêndio registadas pelo ICNF, o sensor MODIS também revelou um elevado número de registos para o ano de 2013, perfazendo um total de 4 388 ocorrências. Nas regiões Norte e Centro foram detetadas 2 885 e 1 207 ocorrências, respetivamente. O ano de 2015 revela semelhanças em termos proporcionais ao ano de 2013, sendo que as regiões Norte e Centro foram, como em 2013, as que apresentaram uma maior quantidade de registos de FRP, com 1 265 e 487 ocorrências, respetivamente.

Segundo os dados registados pelo sensor MODIS, para o período de análise, a Figura 4.17 indica a soma dos valores de FRP para cada região, para os anos de 2013 a 2015.

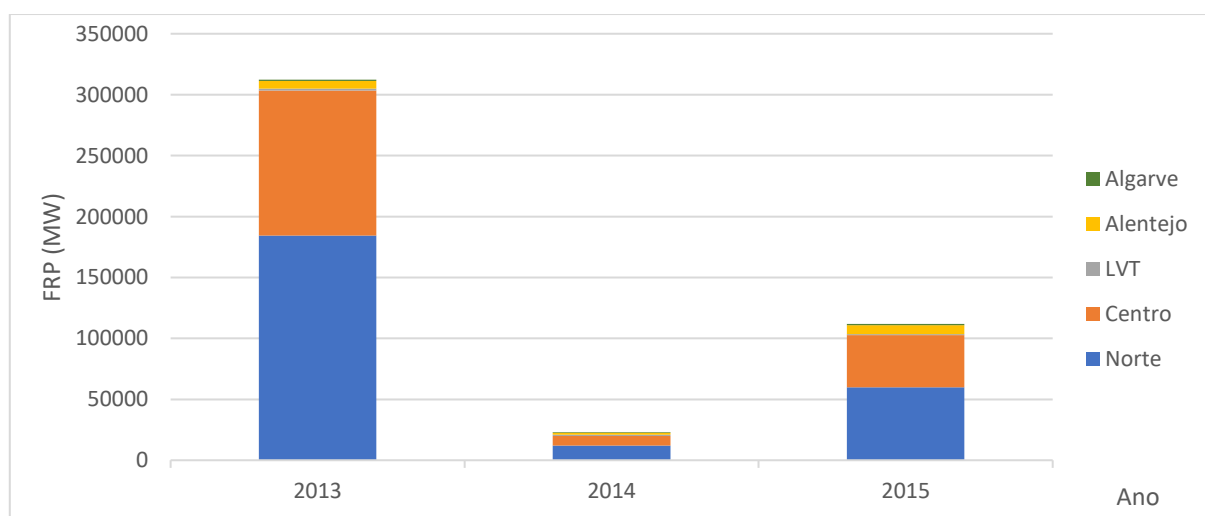


Figura 4.17 - Soma anual dos valores de FRP para cada região

Como é possível observar, os dados da soma de FRP seguem a mesma tendência dos dados de área ardida, com 2013 a ser o ano com maior potência radiativa derivada de incêndios registrada, seguido por 2015 e 2014. Os valores totais de FRP registados foram de 312 282 MW para o ano de 2013, 23 141 MW para o ano de 2014 e 111 792 MW para o ano de 2015.

Durante o ano de 2013, o maior pico de atividade registado pelo sensor MODIS deu-se durante o mês de agosto e setembro, com um total de 2 601 e 963 ocorrências, respetivamente, como é possível observar na Figura 4.18.

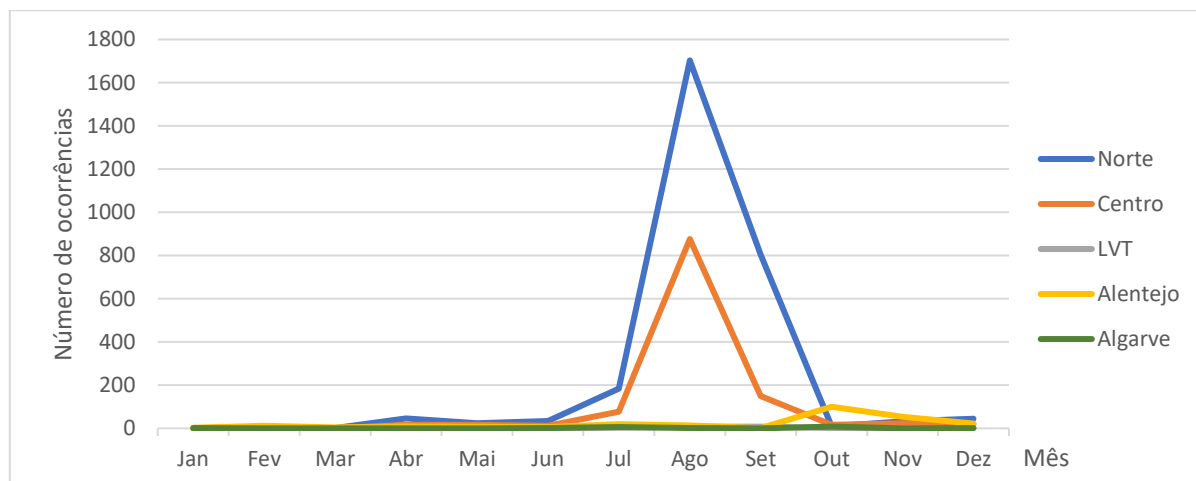


Figura 4.18 - Número de registos de FRP por região no ano de 2013

As regiões Norte e Centro apresentaram os maiores números de registos e possuíram uma tendência muito semelhante. Ambos os picos se verificaram durante os meses de agosto e setembro, com 1 703 e 876 ocorrências, respetivamente.

Em termos totais de FRP, o maior pico de atividade deu-se durante os meses de agosto e setembro. Foram registados os valores de 124 494 MW em agosto e 43 268 MW em setembro para a região Norte. Para a região Centro os valores registados foram 90 333 MW e 18 240 MW, respetivamente, para estes dois meses. Como é possível observar na Figura 4.19, as restantes regiões não demonstram valores relevantes, indicando que o grosso de atividade se deu nas regiões Norte e Centro.

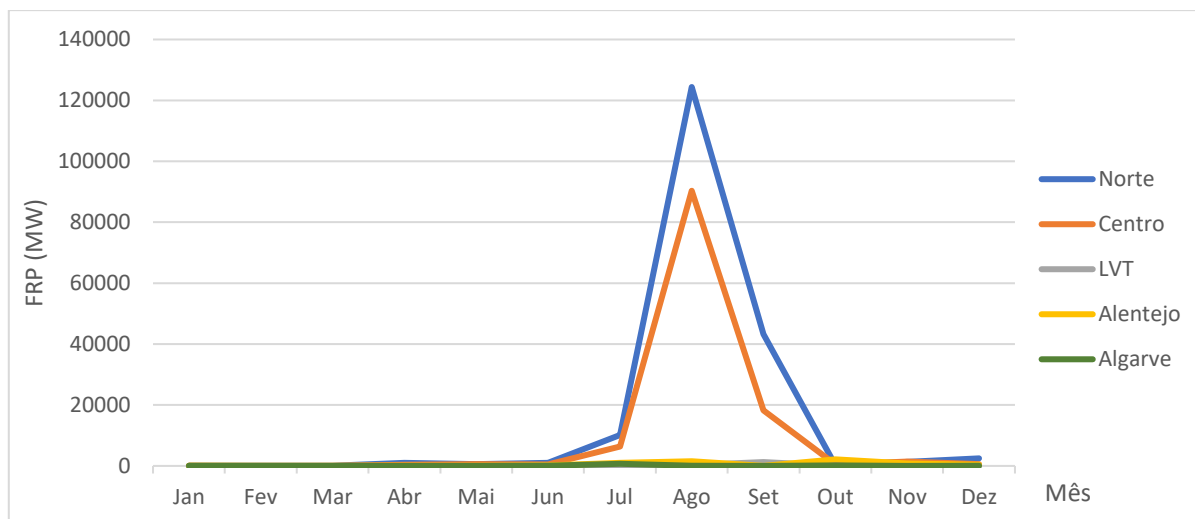


Figura 4.19 - Soma mensal dos valores de FRP para cada região, no ano de 2013

Como referido anteriormente, o ano de 2014 foi relativamente calmo em termos de incêndios florestais, em especial durante a típica época de incêndios. Deste modo, existe uma larga dispersão de registos captados pelo sensor MODIS, como é possível observar na Figura 4.20.

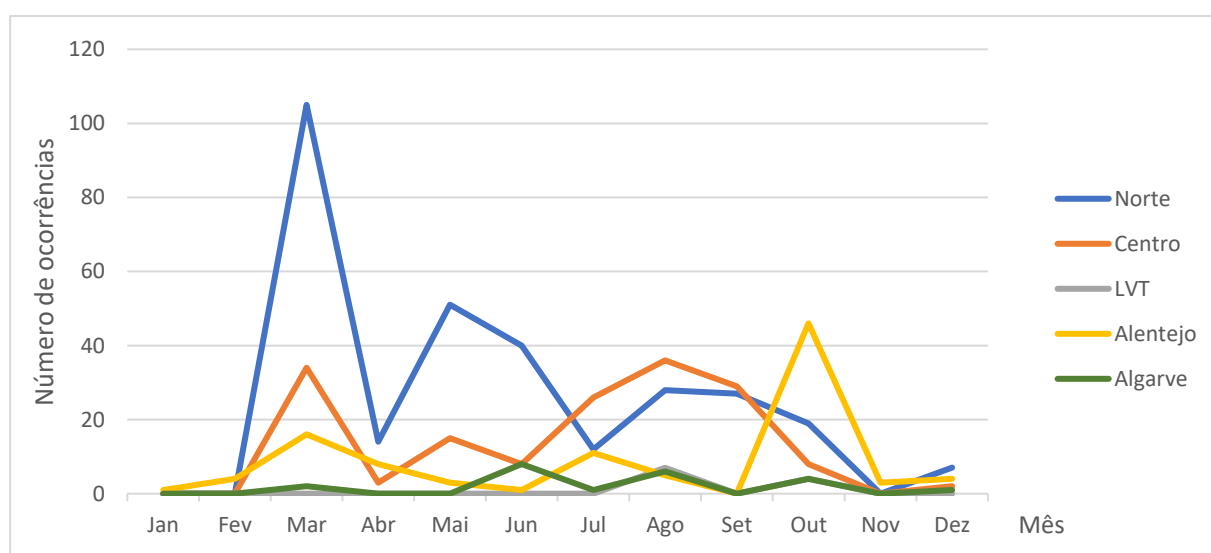


Figura 4.20 - Número de registos de FRP por região no ano de 2014

Apesar de se verificar um pico no mês de março para a região Norte, onde o sensor MODIS registou 105 ocorrências, as restantes regiões mantêm um nível baixo de ocorrências ao longo do ano, nunca excedendo esse valor.

Para os valores totais de FRP, na Figura 4.21, foram registados diversos picos de potência radiativa, contudo os valores não são muito elevados em comparação aos valores registados no ano anterior, contudo, tal como no ano anterior, as regiões Norte e Centro são as que apresentam os valores mais elevados de FRP.

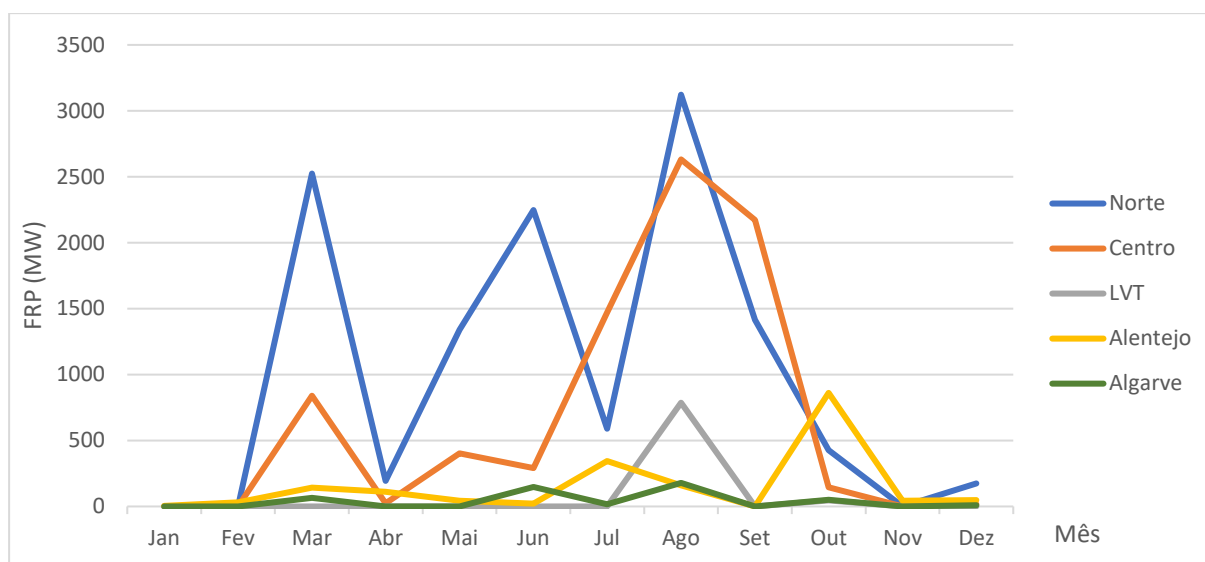


Figura 4.21 - Soma mensal dos valores de FRP para cada região, no ano de 2014

O sensor MODIS, em semelhança aos dados obtidos pelo ICNF, registou para 2015 uma maior atividade de incêndios florestais (Figura 4.22). Foram registados dois picos de maior atividade, nos períodos de março a abril e de julho a setembro.

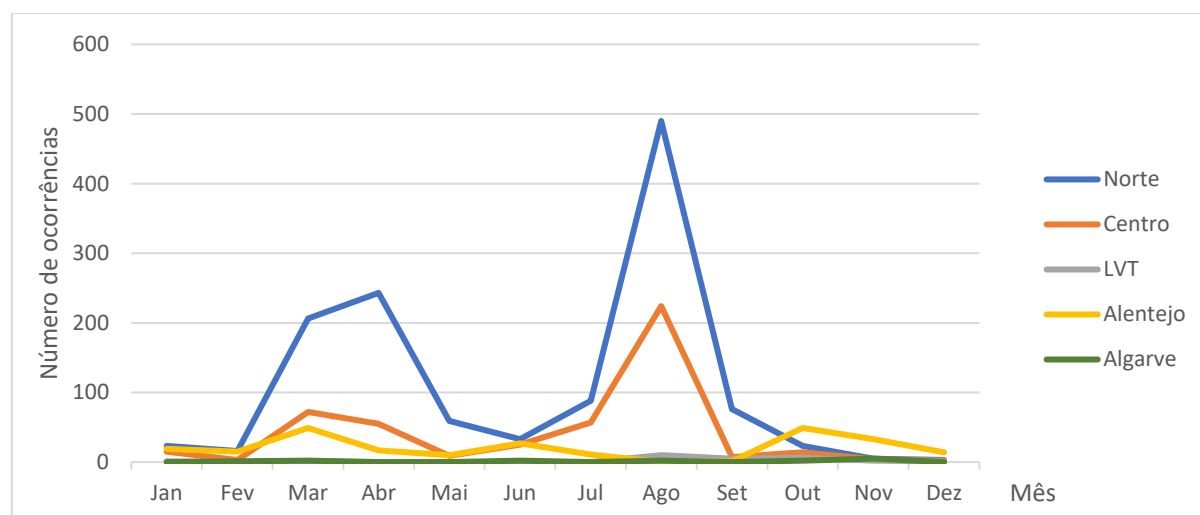


Figura 4.22 - Número de ocorrências de FRP por região no ano de 2015

À semelhança dos dados relatados pelo ICNF, a região Norte foi a mais afetada durante o ano de 2015, com um total de 1 265 registos de FRP, com picos de 449 ocorrências entre o mês de março e abril e 654 ocorrências nos meses de julho a setembro. A região Centro também possui mais atividade em relação as restantes regiões, com um total de 487 ocorrências e com picos de atividades nos meses de março e abril, e julho e agosto, com 127 e 281 ocorrências. As restantes regiões somam um total de 285 ocorrências ao longo do ano.

Em relação à soma de valores de FRP no ano de 2015, o maior pico de atividade foi observado durante o mês de agosto para as regiões Norte e Centro (Figura 4.23), tendo sido registados os valores de 33 707 MW e 28 082 MW. Nos restantes meses os valores totais de FRP não ultrapassam os 6 000 MW.

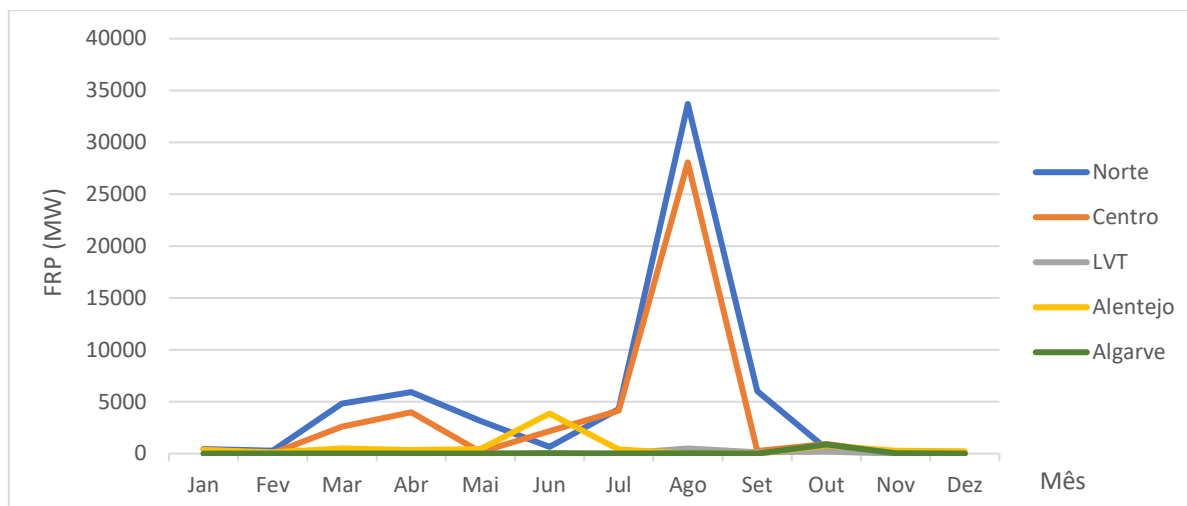


Figura 4.23 - Soma mensal dos valores de FRP para cada região, no ano de 2015

4.2.3. Comparação entre Área ardida e valor total de FRP

Tendo em conta que os valores de FRP são proporcionais à quantidade de biomassa ardida (Kollanus et al., 2016), e de forma a compreender se existe uma ligação entre os valores de FRP e a área ardida, sobrepuseram-se ambas as séries de dados, representadas nas Figura 4.24 e Figura 4.25. Os dados apresentados demonstram que ambos os valores se correlacionam bem, seguindo uma tendência semelhante ao longo do período de análise. Portanto, quanto maior a quantidade de área ardida, maior será a taxa de biomassa ardida e, segundo Kollanus, maiores serão as emissões de $PM_{2,5}$ associadas, assim como os efeitos verificados na saúde pública.

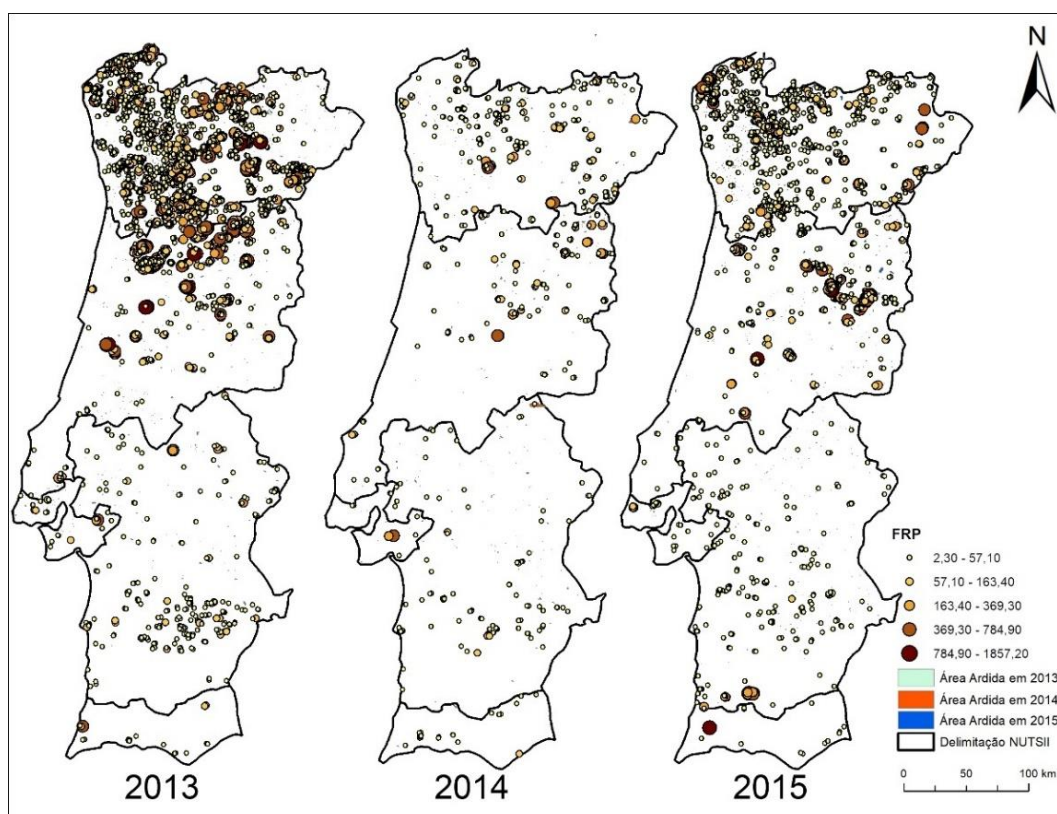


Figura 4.24 - Distribuição espacial dos valores de FRP para os anos de 2013, 2014 e 2015

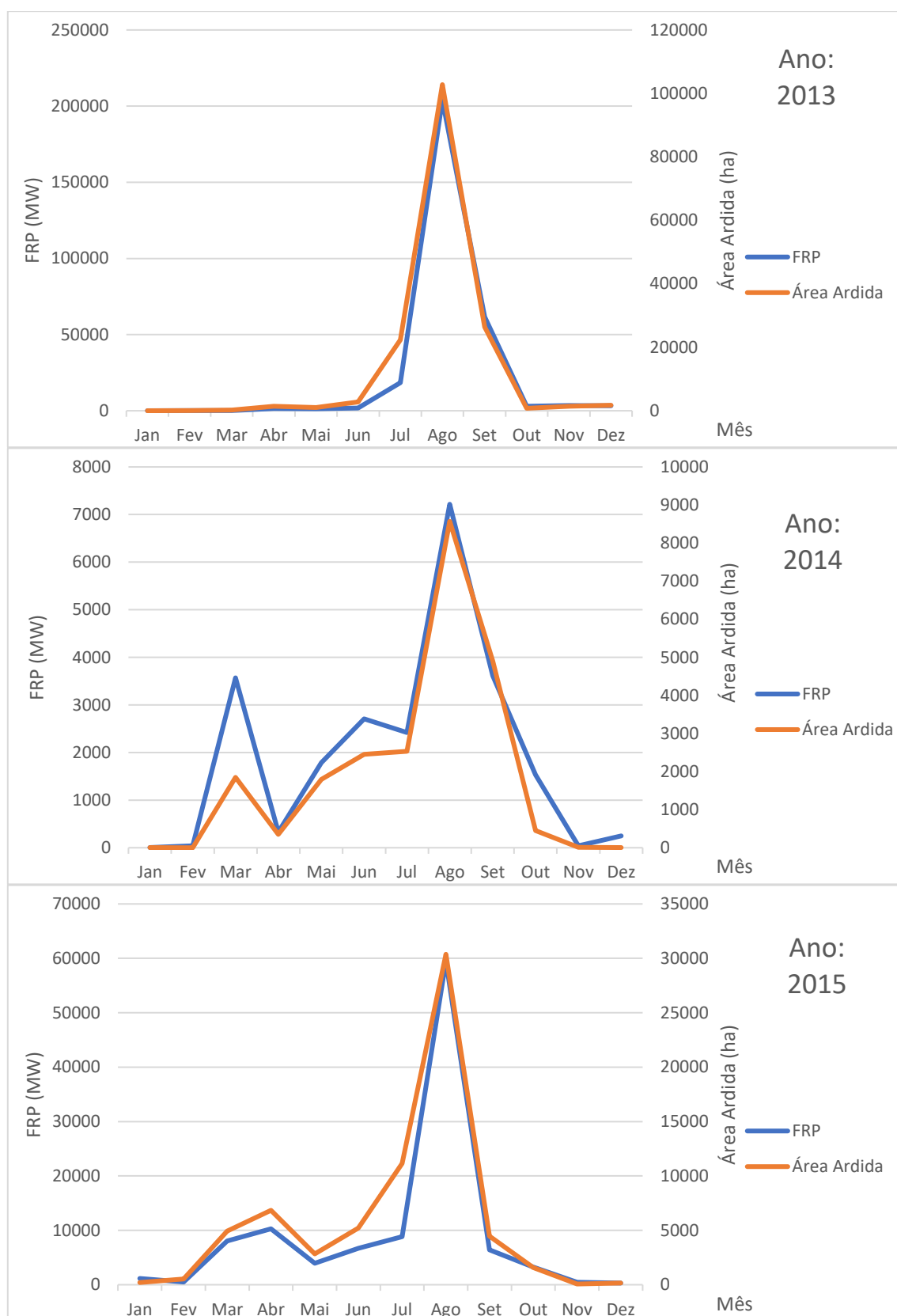


Figura 4.25 - Comparação entre o total dos valores de FRP e a Área ardida nos anos de 2013, 2014 e 2015

4.3. Concentrações de poluentes atmosféricos

A análise estatística é um instrumento fundamental para o estudo de eventos como a ocorrência de incêndios e os impactos na qualidade do ar, pois confere ao investigador os meios necessários para obter, organizar e analisar os dados, de forma a estabelecer as correlações existentes, a fim de conseguir produzir informação com o maior nível de exatidão. Neste caso, a análise realizada permitiu determinar se as concentrações de partículas em suspensão, registadas pelas estações de qualidade do ar, se encontram dentro dos limites legais, e, caso se verifique a existência de ultrapassagens a esses mesmos limites, se as estas têm origem em causas naturais, tais como: transporte a longa distância de poeiras dos desertos do Norte de Africa ou a incêndios florestais ocorridos em Portugal Continental.

A análise estatística realizada baseou-se nos valores de concentração média diária dos poluentes atmosféricos PM_{10} e $PM_{2,5}$, registados nas estações de qualidade do ar da rede Qualar, para os anos de 2013 a 2015. Para esta análise selecionaram-se estações do tipo fundo (quanto à influência da fonte de emissão dominante) e com um tipo de ambiente envolvente rural, urbano e suburbano.

A Tabela 4.1 demonstra as eficiências das estações de monitorização utilizadas, para cada ano de estudo e para a série dos três anos. Uma vez que certas estações apresentam, para a série trianual uma eficiência indesejável, tornando os dados pouco representativos desse período, considerou-se um valor mínimo de eficiência de 75%, tendo sido excluídas, posteriormente, as estações que não cumpriam este critério.

Tabela 4.1 - Eficiências das estações de monitorização da qualidade do ar utilizadas

Região	Zonas	Abreviatura	Tipo de Ambiente	Eficiências							
				PM ₁₀				PM _{2,5}			
				2013	2014	2015	Período de 2013 a 2015	2013	2014	2015	Período de 2013 a 2015
Norte	Entre Douro e Minho	BSTI	Urbana	96%	81%	76%	84%	-	-	-	-
		HORT	Suburbana	98%	90%	81%	89%	-	-	-	-
		LACT	Urbana	94%	72%	92%	86%	98%	65%	84%	82%
	Porto Litoral	AES	Suburbana	40%	53%	51%	48%	-	-	-	-
		AVI	Urbana	96%	73%	52%	74%	-	-	-	-
		CUS	Suburbana	97%	63%	73%	78%	-	-	-	-
		ERM	Urbana	89%	54%	52%	65%	-	-	-	-
		LEC	Suburbana	83%	21%	62%	56%	-	-	-	-
		MVCO	Suburbana	99%	81%	85%	88%	-	-	-	-
		SOB	Urbana	91%	57%	68%	72%	80%	67%	79%	75%
		VNT	Suburbana	93%	7%	93%	64%	-	-	-	-
	Norte Interior	OLO	Rural	92%	79%	26%	66%	9%	63%	28%	33%
	Norte Litoral	MNH	Rural	90%	0%	14%	35%	-	-	-	-
Centro	Aveiro/Ílhavo	ILH	Suburbana	89%	99%	100%	96%	-	-	-	-
	Coimbra	GEO	Urbana	99%	99%	81%	93%	-	-	-	-
	Centro Interior	FORN	Rural	96%	95%	98%	97%	-	-	-	-
		FUN	Rural	100%	98%	99%	99%	100%	94%	100%	98%
	Centro Litoral	ERV	Rural	91%	95%	93%	93%	94%	99%	97%	97%
		MOV	Rural	88%	98%	98%	95%	-	-	-	-
Lisboa e Vale do Tejo	AML Norte	ALF	Urbana	51%	48%	35%	45%	50%	30%	37%	39%
		ALV	Urbana	96%	98%	98%	98%	-	-	-	-
		LOU	Urbana	57%	96%	86%	80%	-	-	-	-
		MARQ	Urbana	65%	92%	97%	85%	-	-	-	-
		MEM	Urbana	93%	59%	96%	83%	90%	72%	95%	85%
		OLI	Urbana	95%	92%	94%	94%	82%	95%	98%	92%
		REB	Urbana	45%	39%	73%	52%	-	-	-	-
		REST	Urbana	52%	73%	3%	43%	-	-	-	-
	AML Sul	FID	Urbana	0%	0%	35%	12%	0%	0%	2%	1%
		LAR	Urbana	90%	95%	96%	94%	91%	95%	98%	95%
	Setúbal	ARC	Urbana	98%	66%	95%	86%	-	-	-	-
		CHA	Rural	95%	97%	91%	95%	96%	99%	99%	98%
		FPO	Rural	72%	88%	93%	85%	66%	89%	99%	85%
Alentejo	Oeste, Vale do Tejo e Península de Setúbal	LOR	Rural	56%	96%	94%	82%	62%	33%	71%	56%
	Alentejo Interior	TER	Rural	100%	100%	76%	92%	75%	98%	98%	90%
	Alentejo Litoral	MVE	Rural	98%	88%	73%	86%	88%	4%	15%	36%
Algarve	Aglomeração Sul	EJM	Urbana	71%	90%	99%	87%	0%	88%	96%	61%
		MAL	Urbana	99%	94%	90%	94%	-	-	-	-
	Algarve	CER	Rural	77%	78%	91%	82%	73%	95%	91%	86%

Legenda: Valores de eficiência <75% assinalados a vermelho; '-' Estação não efetua medição do poluente.

4.3.1. Partículas em suspensão – ano 2013

O ano de 2013 foi caracterizado por um significativo número de ocorrências de incêndios florestais no período de junho a setembro. Tal facto é visível através do aumento da concentração média de PM_{10} durante este período, registado em todas as regiões (Figura 4.26), tendo-se registado valores para a média das estações de cada região entre $15 \mu g.m^{-3}$ a $28 \mu g.m^{-3}$. Contudo, existe também um aumento brusco do mês de novembro para dezembro, eventualmente associado à combustão de biomassa utilizada nas lareiras para aquecimento doméstico associada a fracas condições de dispersão. Em termos de concentração média anual, o valor registado para Portugal Continental foi de $19 \mu g.m^{-3}$.

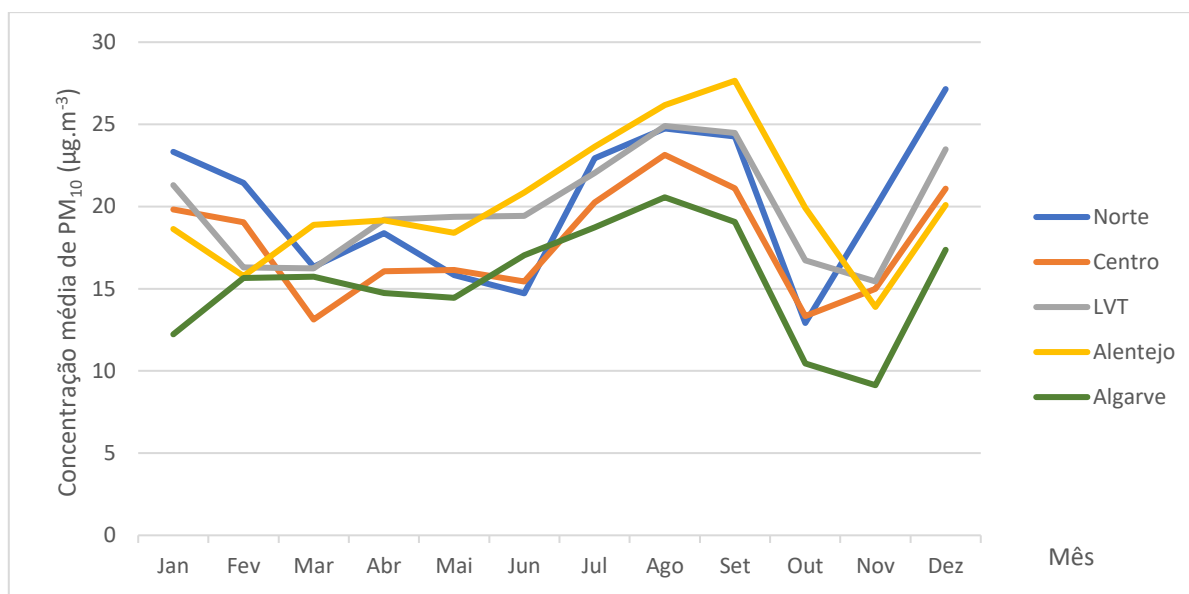


Figura 4.26 - Concentração média mensal de PM_{10} em 2013

Para o mesmo ano, a concentração média de partículas $PM_{2.5}$ (Figura 4.27) obteve valores regulares em quase todas as regiões, sendo que a região do Alentejo apresenta valores fora do comum nos meses de março a setembro, onde a concentração média passa de $10 \mu g.m^{-3}$ para $23 \mu g.m^{-3}$ num espaço de um mês. Em setembro, a concentração média de $PM_{2.5}$ volta a tomar valores semelhantes nas restantes regiões. À semelhança do que foi verificado nas PM_{10} , observou-se também um ligeiro aumento das $PM_{2.5}$ de novembro para dezembro. Contudo, é de salientar que só foi possível utilizar uma estação para a região do Alentejo, dado que as eficiências das restantes estações estavam abaixo dos 75%, refletindo uma representatividade temporal limitada nesta região.

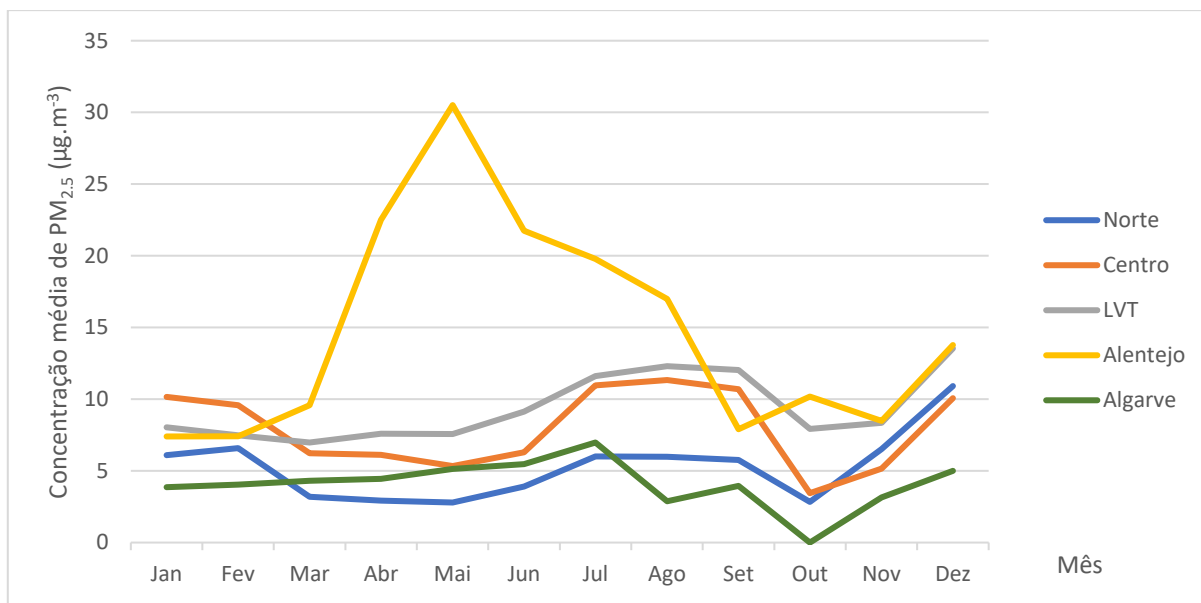


Figura 4.27 - Concentração média mensal de PM_{2,5} em 2013

Em relação ao rácio PM_{2,5}/PM₁₀, é possível observar através da Figura 4.28 que a região Norte apresenta valores baixos, entre 0,35 e 0,06. A região Alentejo apresenta os valores mais elevados ao longo do ano muito devido aos seus valores de PM_{2,5} terem sido elevados, o seu rácio toma valores entre 0,86 e 0,46.

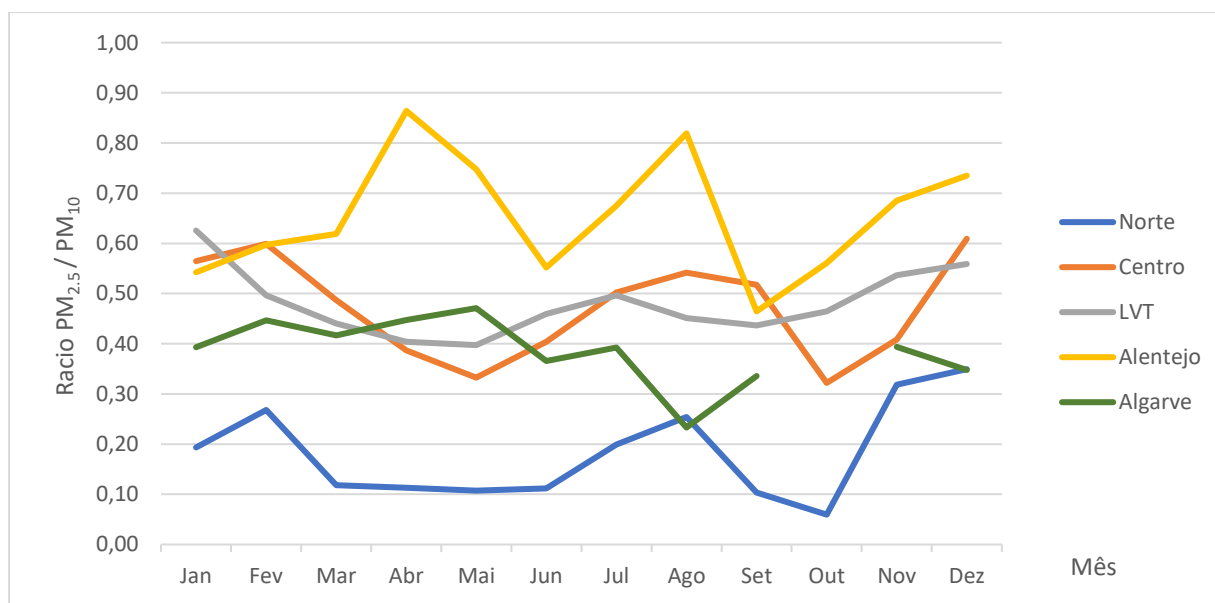


Figura 4.28 - Rácios mensais de PM_{2,5} / PM₁₀ em 2013

4.3.2. Partículas em suspensão – ano 2014

Em 2014, o número de ocorrências de incêndios foi diminuto, refletindo-se na concentração média de PM₁₀ durante os meses de junho ao setembro, em especial na região Norte (Figura 4.29). Os valores registados variam entre os 9 µg.m⁻³ e os 21 µg.m⁻³. Em semelhança ao ano anterior existe um aumento das emissões a partir de Outono. Apesar de não se ter verificado um grande registo de incêndios durante o mês de outubro, a listagem de eventos naturais do Norte de África demonstra que Portugal

Continental foi afetado na maior parte dos dias deste mês. Em termos de concentração média anual, o valor registado para Portugal Continental foi de $17 \mu\text{g.m}^{-3}$.

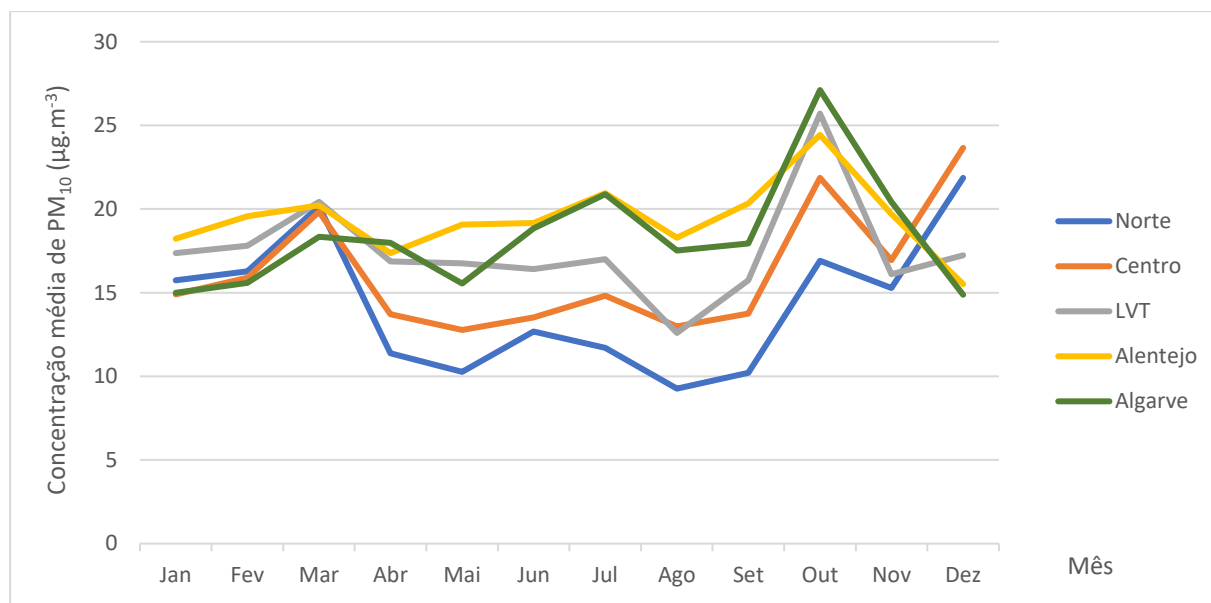


Figura 4.29 - Concentração média mensal de PM₁₀ em 2014

Em termos de PM_{2,5}, é possível observar através da Figura 4.30 que a região Alentejo continua a apresentar valores mais elevados que as restantes regiões, em que apresenta um valor médio de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ ao longo do ano, sendo muito superior às restantes regiões. A região Norte e a região Centro apresentam valores baixos até setembro. No mês de outubro, devido ao evento natural, os valores sobem para todas as regiões atingindo um máximo registado de $13 \mu\text{g.m}^{-3}$ na região do Alentejo. Em dezembro, os valores de PM_{2,5} sobem bruscamente em quase todas as regiões, em especial nas regiões Norte e Centro.

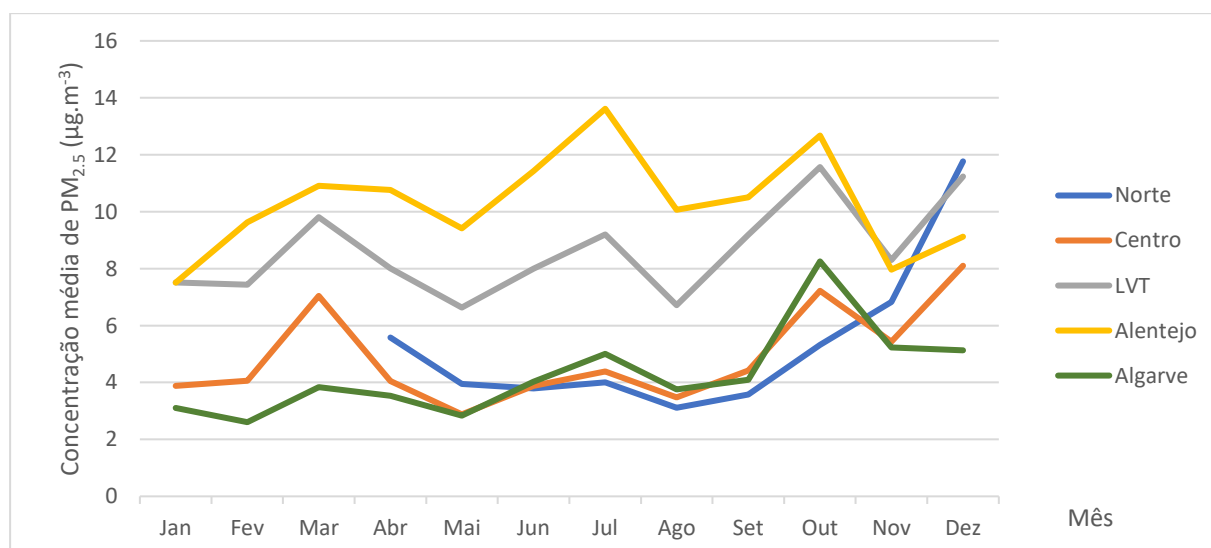


Figura 4.30 - Concentração média mensal de PM_{2,5} em 2014

Em 2014, como possível observar na Figura 4.31, a região do Alentejo foi novamente a que registou o maior rácio entre as PM_{2,5} e as PM₁₀ durante o ano, apesar de seguir um padrão semelhante às

restantes regiões. O rácio máximo registado nesta região foi de 0,73 no mês de dezembro, tendo sido registado um mínimo de 0,53. O valor mais baixo verificou-se na região Centro, durante o mês de maio, com um rácio de 0,26.

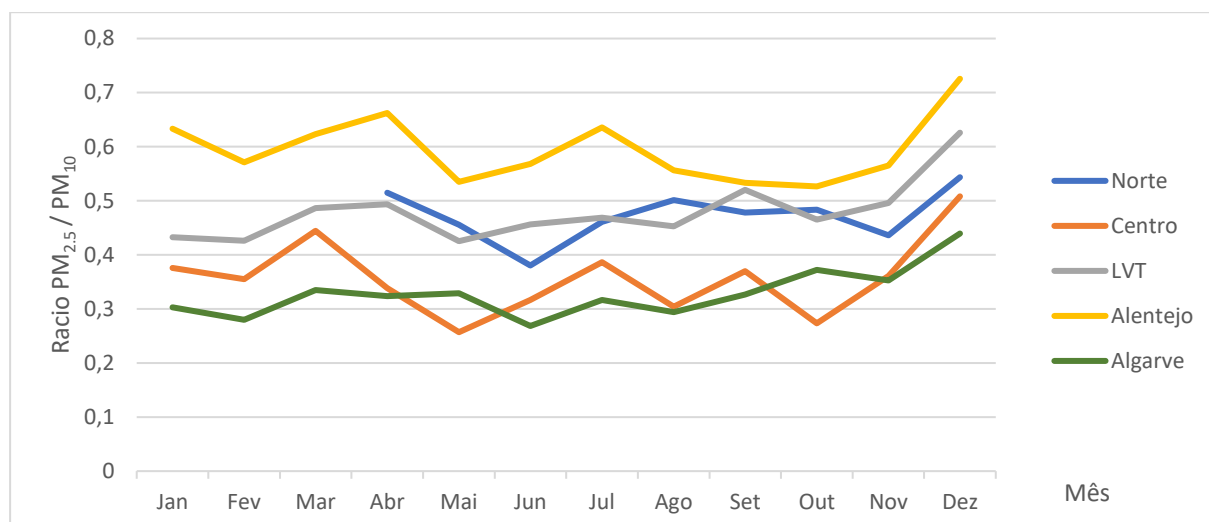


Figura 4.31 - Rácios mensais de $PM_{2,5} / PM_{10}$ em 2014

4.3.3. Partículas em suspensão – ano 2015

O ano de 2015 foi um ano novamente caracterizado pela ocorrência de incêndios florestais, sendo que a quantidade de ocorrências foi inferior ao ano de 2013, em especial em termos de incêndios superiores a 100 ha. Contudo, é possível observar na Figura 4.32 que os valores da concentração média de PM_{10} foram ligeiramente superiores ao ano de 2013, tendo-se verificado um aumento tendencial de novembro para dezembro, como registado também nos anos de 2013 e 2014. Ao longo do ano foi registado um valor mínimo de $14 \mu g.m^{-3}$ na região do Norte, durante o mês de agosto, e um valor máximo de $32 \mu g.m^{-3}$ na região do Algarve durante o mês de dezembro. Em termos de concentração média anual, o valor registado para Portugal Continental foi de $20 \mu g.m^{-3}$. No mês de dezembro as concentrações médias de PM_{10} são superiores aos anos anteriores, pois, a precipitação mensal registada no mês de dezembro indica que existiu uma anomalia negativa entre 60 e 80 mm em relação aos valores médios do período de 1971-2000.

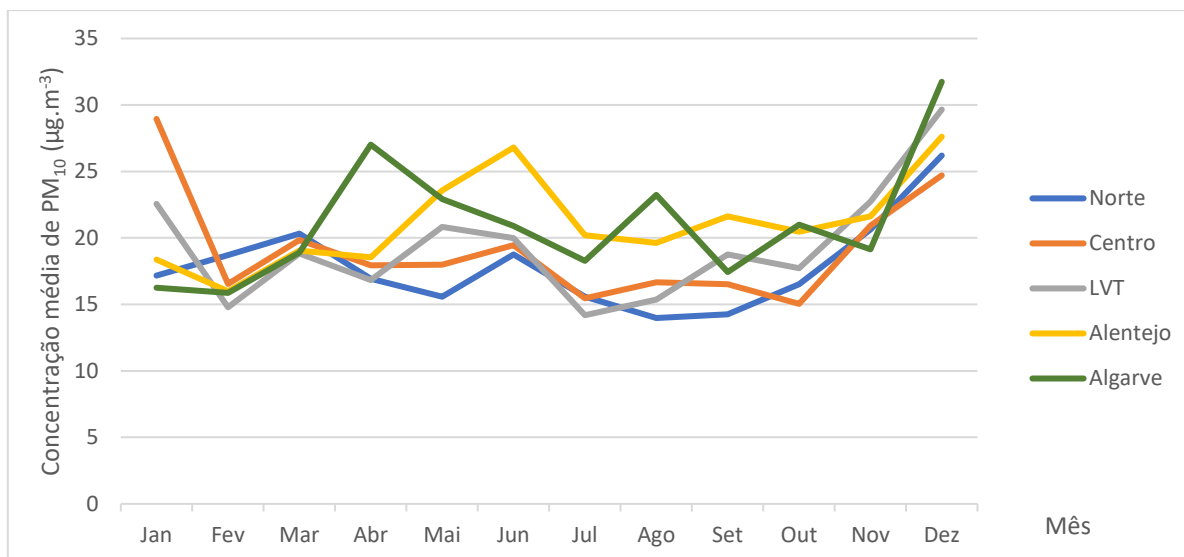


Figura 4.32 - Concentração média mensal de PM₁₀ em 2015

Assim como verificado para as PM₁₀, os valores das concentrações médias de PM_{2,5} foram ligeiramente superiores ao ano de 2013. Como é possível observar através da Figura 4.33, as regiões do Alentejo e LVT possuem valores muito superiores em relação a restante região; contudo, é possível verificar que no mês de julho, ambas as regiões seguem tendências opostas, onde são registados 17 µg.m⁻³ na região do Alentejo e 9 µg.m⁻³ para a região de LVT. O mês de dezembro é caracterizado por um aumento súbito da concentração média das PM_{2,5} em todas as regiões.

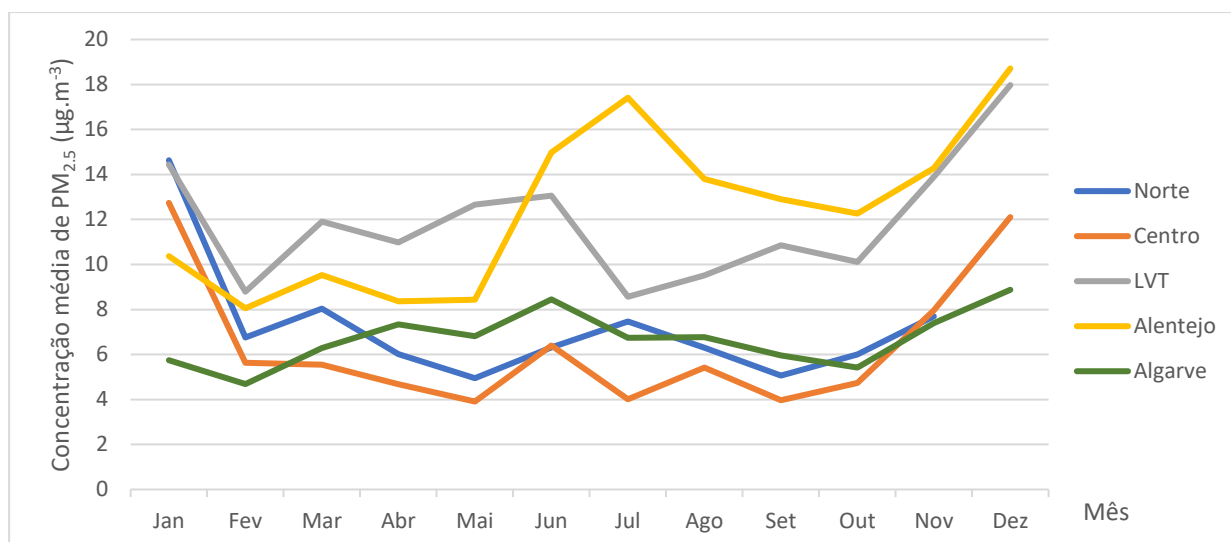


Figura 4.33 - Concentração média mensal de PM_{2,5} em 2015

Em relação ao rácio entre as PM_{2,5} e as PM₁₀ no ano de 2015, como é possível observar na Figura 4.34, as regiões apresentam valores bastante diferentes ao longo do ano. A região Centro é a que apresenta os valores mais baixos, atingindo um rácio mínimo de 0,23, no mês de maio, apresentando valores mais elevados durante o inverno, com 0,58 em janeiro e 0,47 em dezembro, tendência que se verifica nas restantes regiões. A região Centro apresenta um pico de valores de junho a setembro, atingindo um valor máximo de 0,52 no mês de julho.

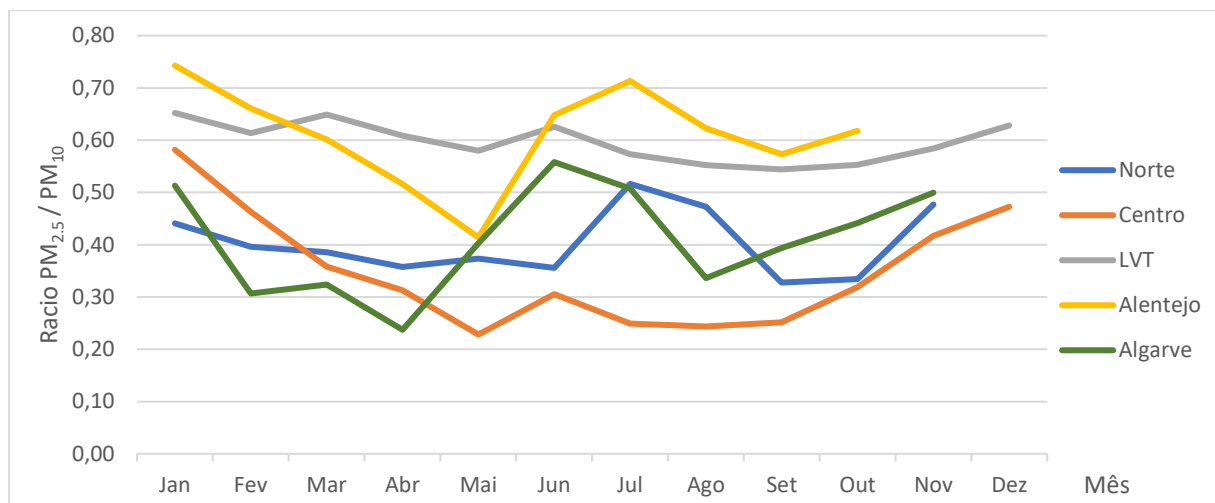


Figura 4.34 - Rácios mensais de $PM_{2,5} / PM_{10}$ em 2015

Em suma, ao realizar-se a análise às partículas em suspensão, verificou-se que as estações de monitorização da qualidade do ar do Alentejo fornecem valores incoerentes. Os valores calculados para a concentração de $PM_{2,5}$ são, em muitas instâncias, superiores aos valores calculados para a concentração de PM_{10} . Deste modo, ao realizar o rácio entre estes dois poluentes foram obtidos valores superiores à unidade com alguma recorrência. Foram eliminados no decorrer da análise os valores superiores à unidade, o que baixou a eficiência dos dados na série. Dado que só existem duas estações de fundo no Alentejo, foi complicado elaborar uma análise fiável para as concentrações de poluentes nesta região.

4.4. Influência da temperatura média do ar na ocorrência de incêndios florestais

Numa análise semelhante à elaborada anteriormente, realizou-se para cada estação do IPMA, uma comparação da temperatura média do ar, entre dias com ocorrências de incêndios e dias sem registos de ocorrências de incêndios, para o período de análise de 2013 a 2015, como é possível observar na Figura 4.35.

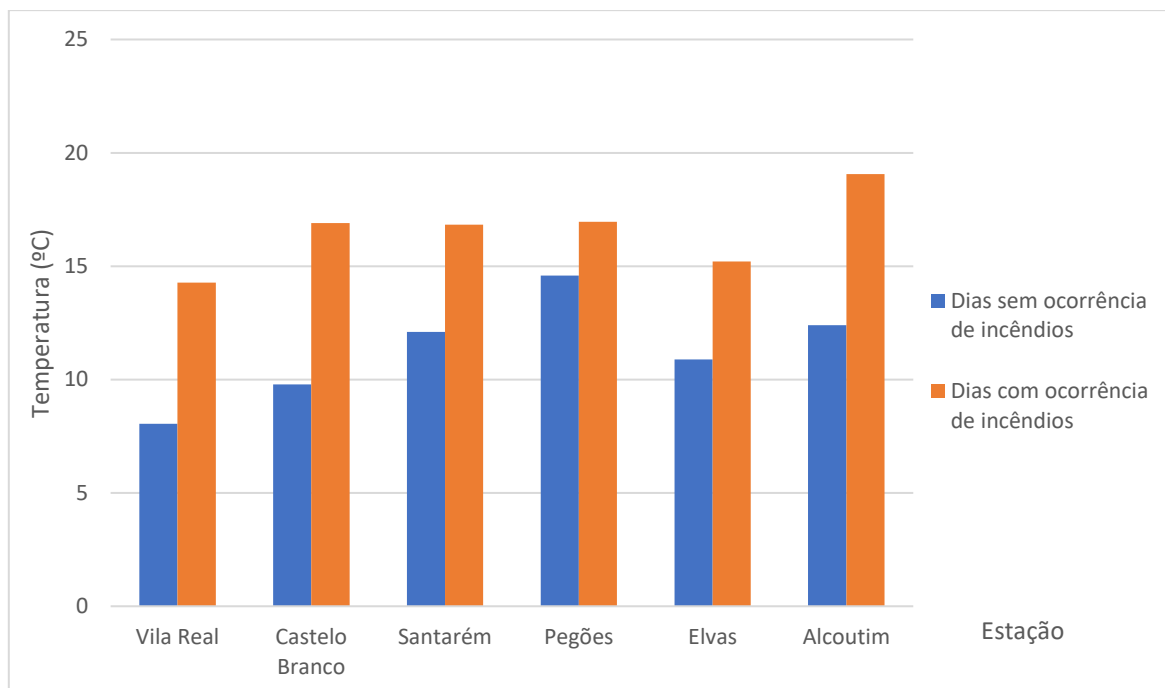


Figura 4.35 - Comparação da temperatura do ar

Ao realizar um teste *T-Student*, foi possível determinar que o valor de P foi de 0,001, sendo deste modo bastante inferior ao nível de significância de 0,05. Tal indica que é improvável que se verifique que os valores da temperatura nas estações meteorológicas sejam idênticos em ambas as situações (com e sem ocorrência de incêndios). Deste modo, o teste *T-Student* indica que se deva aceitar que as médias entre ambos os parâmetros sejam diferentes. Como é possível observar, a temperatura do ar em dias que foram registados incêndios florestais é superior à média em que não foram registados incêndios. Em dias com ocorrência de incêndios florestais, o valor de temperatura média foi de 19,1 °C na estação de Alcoutim, enquanto que em dias sem registo de eventos, o valor de temperatura média foi de 14,6 °C na estação de Pegões. A estação que apresenta a maior diferença entre ambos os parâmetros (com ocorrência de incêndio e sem ocorrência de incêndio) foi a estação de Castelo Branco, registando uma diferença de 7,1 °C na temperatura média ao longo do período de análise. De forma geral, verifica-se que a diferença de temperatura entre ambos os parâmetros indica que a ocorrência de incêndios florestais está conectada com o aumento da temperatura.

4.5. Influência da ocorrência de incêndios florestais na concentração média de partículas em suspensão

No presente trabalho, para o período de análise de 2013 a 2015, foi determinada a média de PM_{10} para duas situações opostas: dias com ocorrência de incêndios e dias sem ocorrência de incêndios (independentemente da região onde estes ocorram), representadas na Figura 4.36.

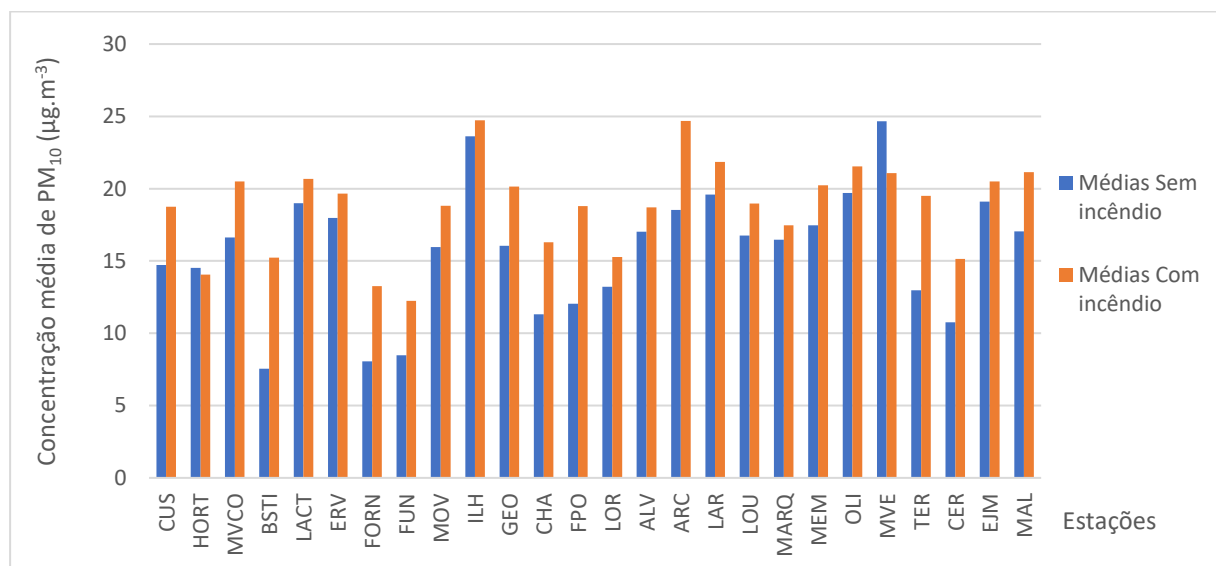


Figura 4.36 - Comparação da concentração média de PM_{10} dos três anos, entre dias com incêndios e dias sem incêndios

Ao realizar um teste *T-Student*, foi possível determinar que o valor de P foi de 0,005, sendo deste modo bastante inferior ao nível de significância de 0,05. Tal indica que é improvável que se verifique que os valores da concentração média diária de PM_{10} nas estações de monitorização da qualidade do ar sejam idênticos em ambas as situações (com e sem ocorrência de incêndios). Deste modo, o teste *T-Student* indica que se deva aceitar que as médias entre ambos os parâmetros sejam diferentes. Calculando a média para ambos os parâmetros, foi possível calcular uma média de $19 \mu\text{g.m}^{-3}$ de PM_{10} para dias com ocorrência de incêndios e $16 \mu\text{g.m}^{-3}$ de PM_{10} para dias sem ocorrência de incêndios. A análise efetuada indica então que se obtiveram médias de PM_{10} mais elevadas nos dias de ocorrência de incêndios, à exceção da estação de Monte Velho (localizada na região Alentejo litoral). A estação Burgães-Santo Tirso (BSTI) demonstrou obter a maior diferença de ambos os valores calculados entre todas as estações. A estação de Ílhavo (ILH) obteve elevados valores de concentração média, tanto em dias com ocorrências de incêndios como em dias sem registos de incêndios, com valores de aproximadamente $25 \mu\text{g.m}^{-3}$ de PM_{10} e $24 \mu\text{g.m}^{-3}$ de PM_{10} respetivamente, sendo uma das estações cujo diferencial entre ambos os parâmetros é quase nulo. Esta é uma estação suburbana e encontra-se junto ao litoral, ao longo da série de estudo foram identificados valores de concentração média de PM_{10} bastante elevados durante os meses de inverno e sem ocorrência de incêndios, possivelmente esses valores serão derivados à combustão de biomassa para aquecimento doméstico. Ao observar somente as estações rurais, à exceção da estação de Monte Velho (MVE), os valores calculados para a concentração média diária de PM_{10} para ambos os parâmetros, são, de um modo geral, inferiores as restantes estações.

4.6. Relação entre classes de área ardida e concentração média de partículas em suspensão

De forma a compreender a relação causa-efeito entre a área ardida e a concentração média das PM₁₀ na qualidade do ar, foi calculada a concentração média de PM₁₀ para cada classe de área ardida ao longo do período de análise (Figura 4.37).

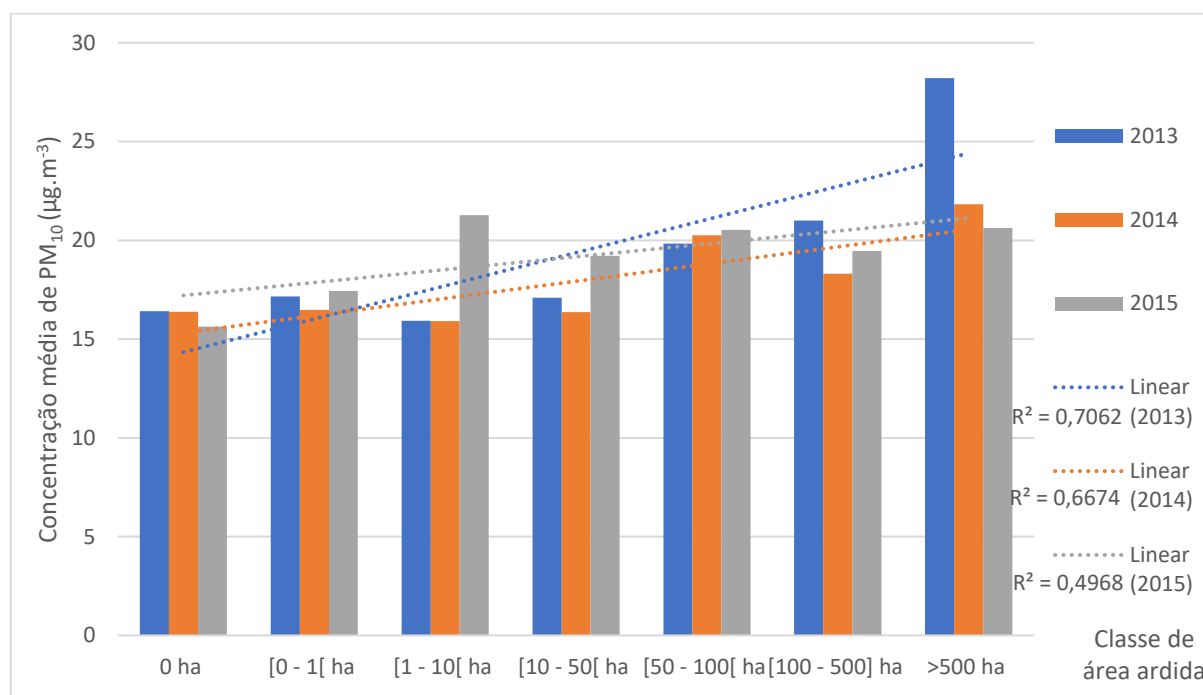


Figura 4.37 - Concentração média de PM₁₀ para cada classe de área ardida ao longo do período de análise

Em termos de classe de área ardida no período de 2013 a 2015, os dados analisados demonstram que a tendência da concentração média de PM₁₀ é de aumentar consoante maior for o valor da classe de área ardida. Dado que se verificou que existe alguma oscilação nesses mesmo valores, foram estabelecidas retas de regressão linear para cada ano em análise onde se verificou que existe de facto um aumento consoante a magnitude da área ardida. No ano de 2013 o coeficiente de determinação (R^2) obtido através da reta de regressão linear foi de 0,71. Neste ano, o comportamento dos dados apresenta uma oscilação da concentração de PM₁₀ em classes de área ardida inferiores a 10 ha, sendo que a partir de 10 ha a concentração de PM₁₀ aumenta consoante o aumento da área ardida. Verifica-se que a concentração de PM₁₀ aumenta imenso entre os intervalos de área ardida de [100-500] e >500 ha. No ano de 2014 o coeficiente de determinação (R^2) obtido através da reta de regressão linear foi de 0,67. Este ano segue a mesma tendência que 2013 em relação às classes de área ardida inferior a 10 ha, contudo, existe uma diminuição da concentração de PM₁₀ entre os 100 e 500 ha. No ano de 2015 o coeficiente de determinação (R^2) obtido através da reta de regressão linear foi o mais inferior dos três anos em análise, onde foi obtido um valor de 0,50. Neste ano, verificou-se que a concentração média de PM₁₀ para a classe de área ardida de [1-10[ha foi bastante superior em comparação aos anos anteriores, sendo inclusive superior à classe de área ardida >500.

Aplicando a mesma metodologia de classes de área ardida, a Figura 4.38 representa a elaboração de uma análise entre as classes de área ardida com a concentração média de PM₁₀ para as estações das regiões Norte e Centro, durante o período de análise dos três anos.

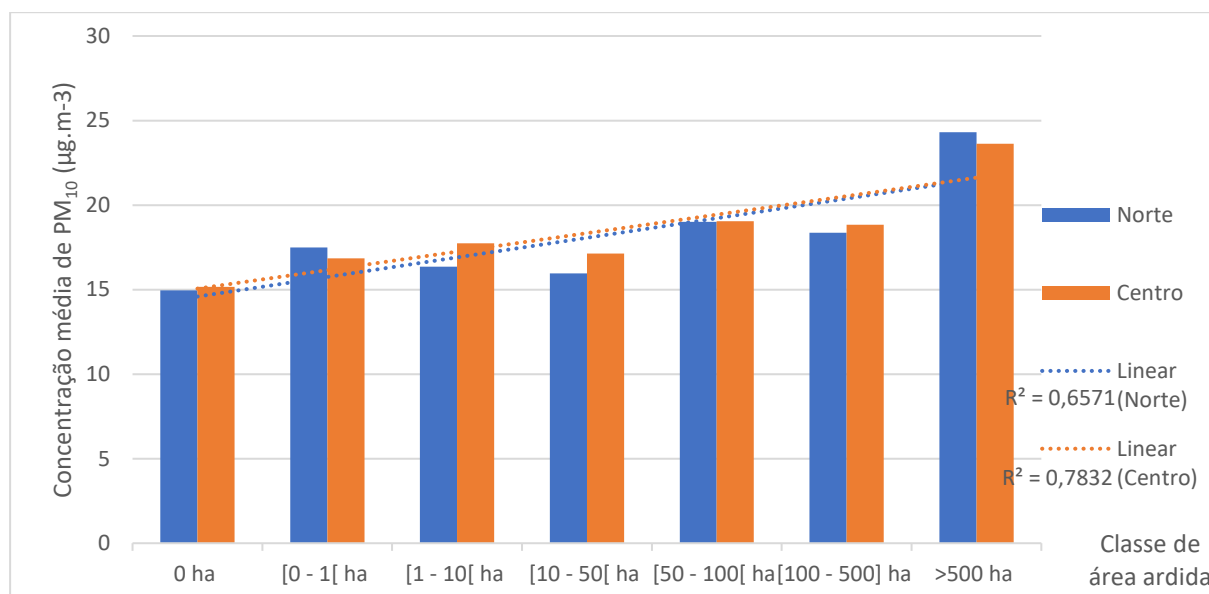


Figura 4.38 - Concentração média de PM₁₀ para cada classe de área ardida, por região, ao longo do período de análise

Devido à quantidade de área ardida verificada em ambas as regiões Norte e Centro, selecionou-se somente as estações relativas a ambas as regiões de modo a obter dados mais precisos. Os dados analisados ao nível regional durante o período de 2013 a 2015 demonstram que de um modo geral os valores da concentração média de PM₁₀ (à semelhança no que foi analisado na Figura 4.37) têm uma tendência para aumentar consoante a dimensão da área ardida. Na região Norte o coeficiente de determinação (R^2) obtido através da reta de regressão linear foi de 0.66, sendo que os valores referentes às estações desta região demonstram uma oscilação consoante a classe de área ardida, ou seja, a concentração média de PM₁₀ revelou-se ser maior para a classe de área ardida de [0-1[ha do que na classe de área ardida de [10-50[. Senso comum indicaria que o contrário seria o esperado, contudo, as estações selecionadas da região Norte (devido a eficiência na serie de dados), são estações urbanas e suburbanas e como tal, encontram-se situadas na mesma aglomeração junto ao litoral. E como anteriormente verificado, existe um grande número de pequenas ocorrências junto ao litoral, onde estas estações estão instaladas, explicando deste modo os valores elevados na classe de área ardida de [0-1[ha. Já para a região Centro, o coeficiente de determinação (R^2) obtido através da reta de regressão linear foi de 0.78. As estações analisadas são na sua maioria estações rurais, apresentando-se mais dispersas nesta região. Os valores registados para classes abaixo de 100 ha são muito semelhantes, mas a tendência da concentração média de PM₁₀ é de aumentar consoante o aumento da área ardida.

4.7. Relação entre os fatores analisados e as concentrações de partículas em suspensão – Correlações

De forma a avaliar a influência da ocorrência de incêndios, área ardida, FRP e temperatura nas concentrações de partículas, efetuaram-se correlações entre estas séries de dados.

À semelhança da metodologia aplicada por outros autores (Martins, 2007) em adição às correlações anuais para o período de análise, foram testados outros dois períodos para a análise das correlações, nomeadamente o período de junho a setembro (JJAS) e o relativo ao mês de agosto. Para tal, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (r).

É então possível observar que durante os períodos em que se verifica uma maior probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, a correlação entre concentrações médias de PM_{10} e a área ardida aumenta, sendo que varia consoante a estação. Como é possível observar na Figura 4.39, estações cuja correlação seria baixa (ou mesmo negativa) em termos anuais, como o caso das estações de Ílhavo (ILH) ou Frossos-Braga (HORT), quando o coeficiente de correlação é aplicado somente aos meses de maior intensidade de incêndio ou mais concretamente ao mês de agosto, as mesmas aproximam-se da unidade.

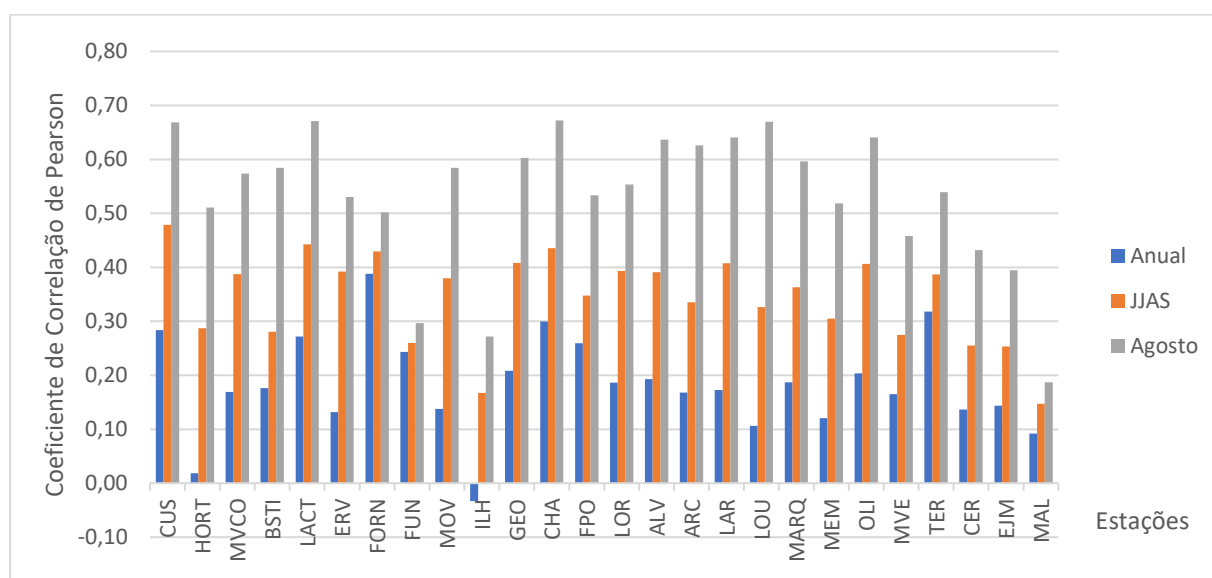


Figura 4.39 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre área ardida e concentração média de PM_{10}

Em termos de correlação anual, a estação de Fornelo do Monte (FORN) é a que apresenta uma melhor correlação ao longo dos três anos, com um valor relativamente reduzido de 0,39. Contudo, para os dois períodos adicionais a estação Custóias-Matosinhos (CUS) é a que demonstra obter uma melhor correlação, com um valor de 0,48 e 0,67.

O mesmo procedimento foi realizado para a determinação do coeficiente de correlação entre o FRP e a concentração média de PM_{10} (Figura 4.40). Foi possível verificar que os resultados obtidos foram semelhantes aos da área ardida em todos os períodos temporais analisados. As estações de Ílhavo

(ILH) ou Frossos-Braga (HORT) obtiveram correlações baixas a nível anual, à semelhança do verificado nas correlações da área ardida.

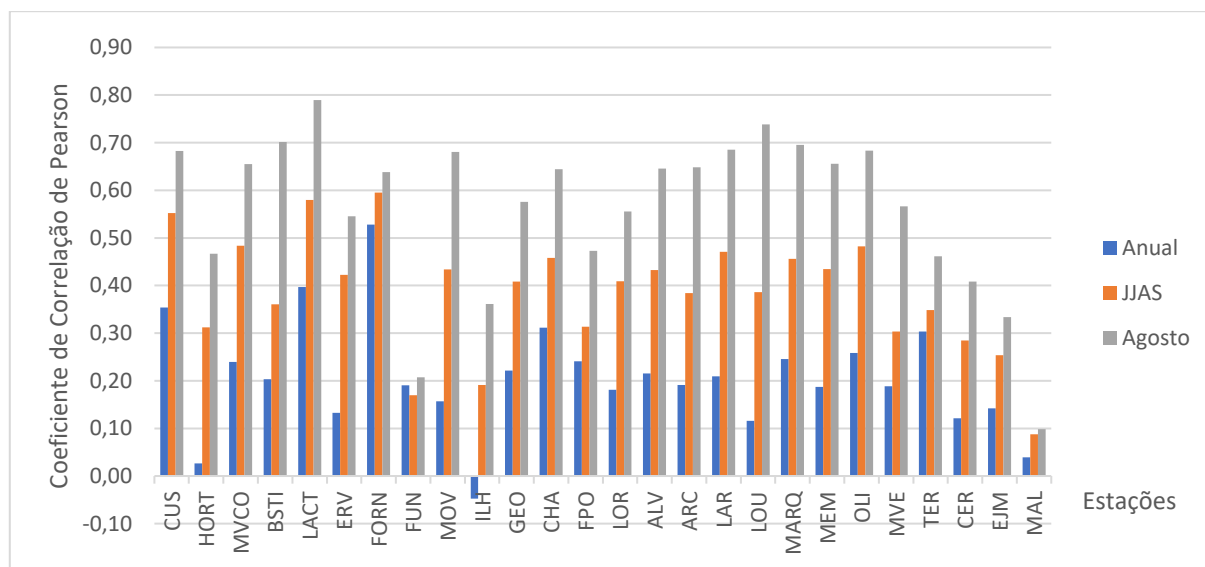


Figura 4.40 - Coeficiente de Correlação de Pearson, entre FRP e concentração média de PM₁₀

Em termos de correlação anual, a estação de Fornelo do Monte (FORN) é a que apresenta uma melhor correlação ao longo dos três anos, com um valor relativamente reduzido de 0,53. Nos restantes dois períodos, os valores de correlação são bastante aproximados, com valores de 0,60 de junho a setembro e 0,64 em agosto. Já a estação de Paços de Ferreira (LACT) é a que apresenta o maior valor de correlação, durante o período de agosto, com um valor de 0,79.

Em termos de temperatura média do ar, a correlação entre esta e as medições de PM₁₀ são relativamente baixas em termos anuais, chegando mesmo a existirem alguns valores negativos para algumas estações, indicando uma tendência oposta como é possível observar na Figura 4.41.

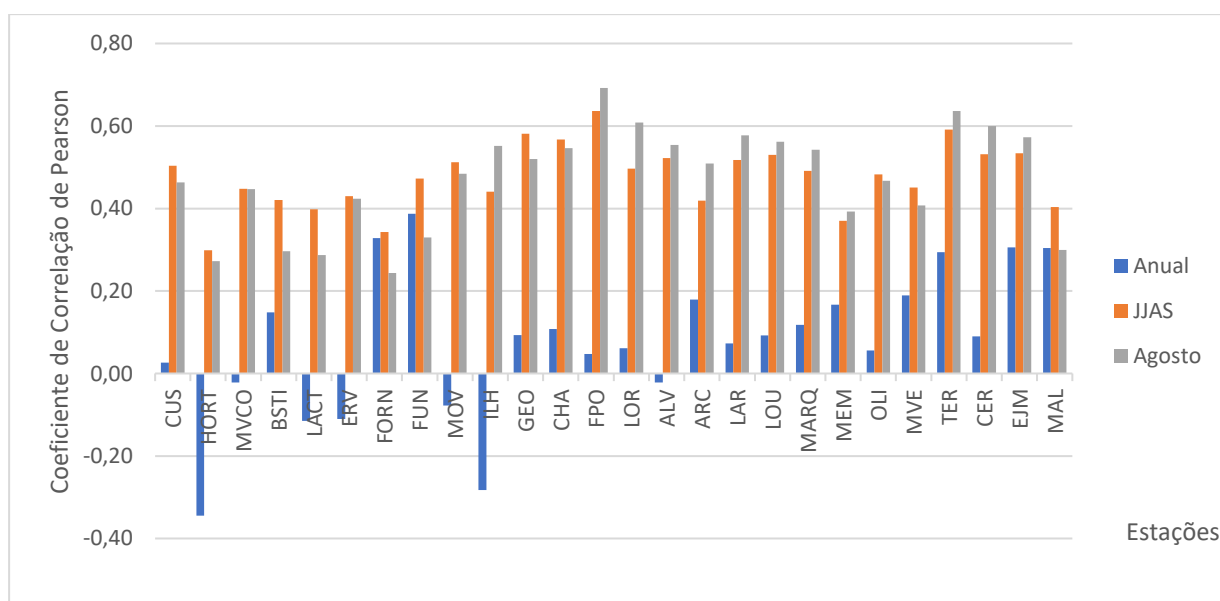


Figura 4.41 - Coeficiente de Correlação de Pearson entre Temperatura e concentração média de PM₁₀

Contudo, é possível obter melhores correlações ao utilizar os períodos cuja ocorrência de incêndios é mais comum, sendo que para o período de julho a setembro foi possível obter uma correlação máxima de 0,64 e uma correlação mínima de 0,30. Para o mês de agosto, as correlações variaram entre os 0,69 e os 0,24.

Em termos de correlação de ocorrências de incêndios com concentrações médias de PM_{10} (Figura 4.42), os valores anuais são muito semelhantes aos apresentados em relação à área ardida e ao FRP. Os valores de correlação são na sua maioria positivos, à exceção das estações de Frossos-Braga (HORT) e Ílhavo (ILH), em que os valores de correlação de ambas foi de -0,10. No período de junho a setembro as correlações das estações tomam todos valores positivos, sendo que a correlação máxima observada é de 0,67, na estação de Paços de Ferreira (LACT), e mínima de 0,22, na estação de Malpique (MAL). Já para o mês de agosto, os valores de correlação entre ambos os parâmetros para o mês de agosto demonstram valores muito satisfatórios, onde o valor médio das correlações é bastante superior aos outros períodos, principalmente nas estações do Norte e Lisboa e Vale do Tejo. Os valores de correlação máximos e mínimos obtidos para este período foram de 0,86 e 0,25, nas estações de Arcos (ARC) e Malpique (MAL), respetivamente.

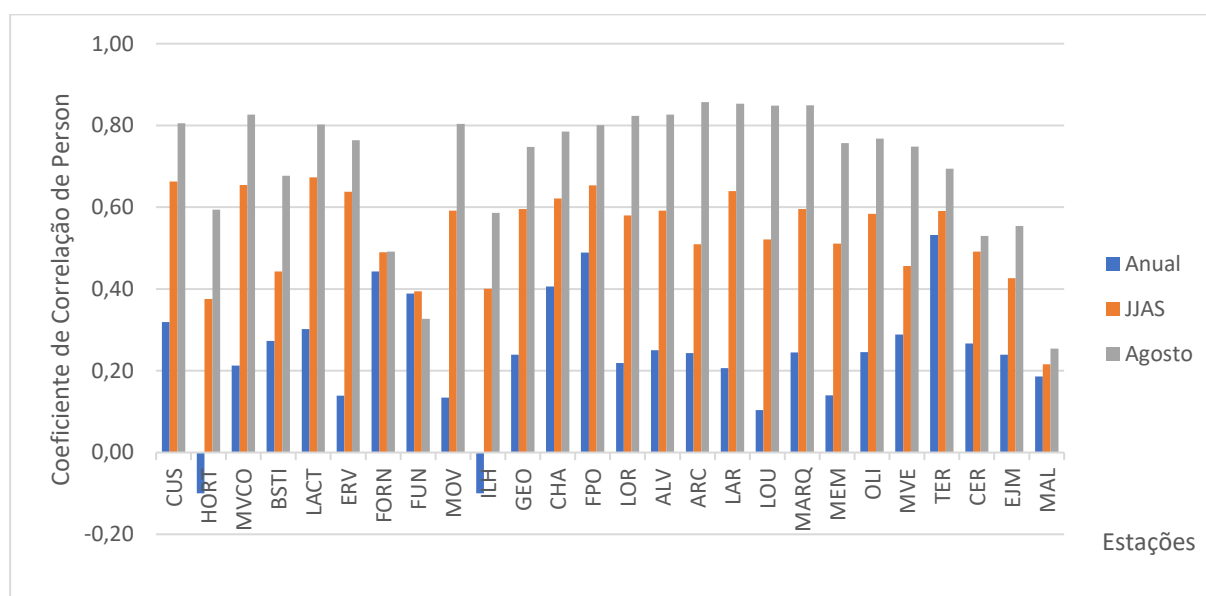


Figura 4.42 - Coeficiente de Correlação de Pearson, entre Ocorrências e concentração média de PM_{10}

Estabelecendo uma comparação entre as correlações previamente obtidas para a área ardida, FRP e ocorrências durante o mês de agosto (Figura 4.43), facilmente se revela que, apesar de a área ardida e o FRP possuírem correlações positivas, é o indicador de ocorrências que possui os melhores valores de correlação em relação a concentração média de PM_{10} . Tal, é especialmente acentuado nas estações de monitorização da qualidade do ar de Lisboa e Vale do Tejo. Como foi referido anteriormente, a maioria das ocorrências de incêndio situam-se perto das grandes áreas urbanas. O que significa que face a alterações ao nível da qualidade do ar, as estações de monitorização, com tipo de influência urbana e suburbana, irão detetar essas alterações mais facilmente.

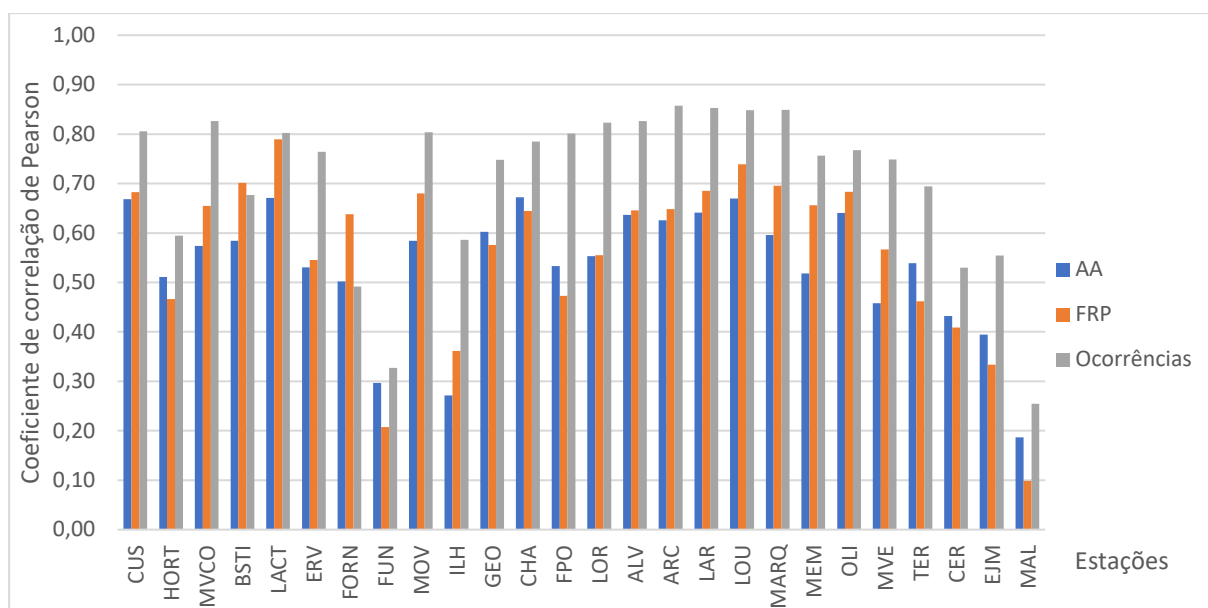


Figura 4.43 - Comparação entre os valores de correlação da área ardida e FRP para os meses de agosto dos anos de 2013 a 2015

4.8. Influência da ocorrência de incêndios florestais nas excedências ao valor limite diário de partículas em suspensão

De forma a quantificar o impacto dos incêndios florestais na qualidade do ar, foi elaborada uma contabilização da quantidade de excedências ao VL diário de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, definido pela legislação em vigor, ocorridas em cada estação de monitorização da qualidade do ar para cada ano do período de análise. Após a determinação da quantidade de excedências totais de cada estação, foram calculadas as excedências ao VL que ocorreram em simultâneo com:

- apenas incêndios,
- apenas eventos naturais do Norte de África (poeiras do Sahara e Sahel),
- incêndios e eventos naturais do Norte de África em simultâneo.

Para a identificação das excedências devidas a incêndios e eventos naturais do Norte de África foram tidos em conta os seguintes critérios:

- excedências devidas a incêndios: foram consideradas sempre que existiam incêndios que perfizessem um total igual ou superior a 100 ha em Portugal Continental;
- excedências devidas a eventos naturais do Norte de África: foram considerados os dias identificados com existência de transporte de poeiras do Sahara, para cada região.

As restantes excedências contabilizadas por estação deveram-se à contribuição de outras fontes de emissão (designadas na análise gráfica por fontes desconhecidas).

De forma a determinar se existem situações de incumprimento dos limites legais, na Figura 4.44 são apresentadas as excedências calculadas para o ano de 2013, em cada estação.

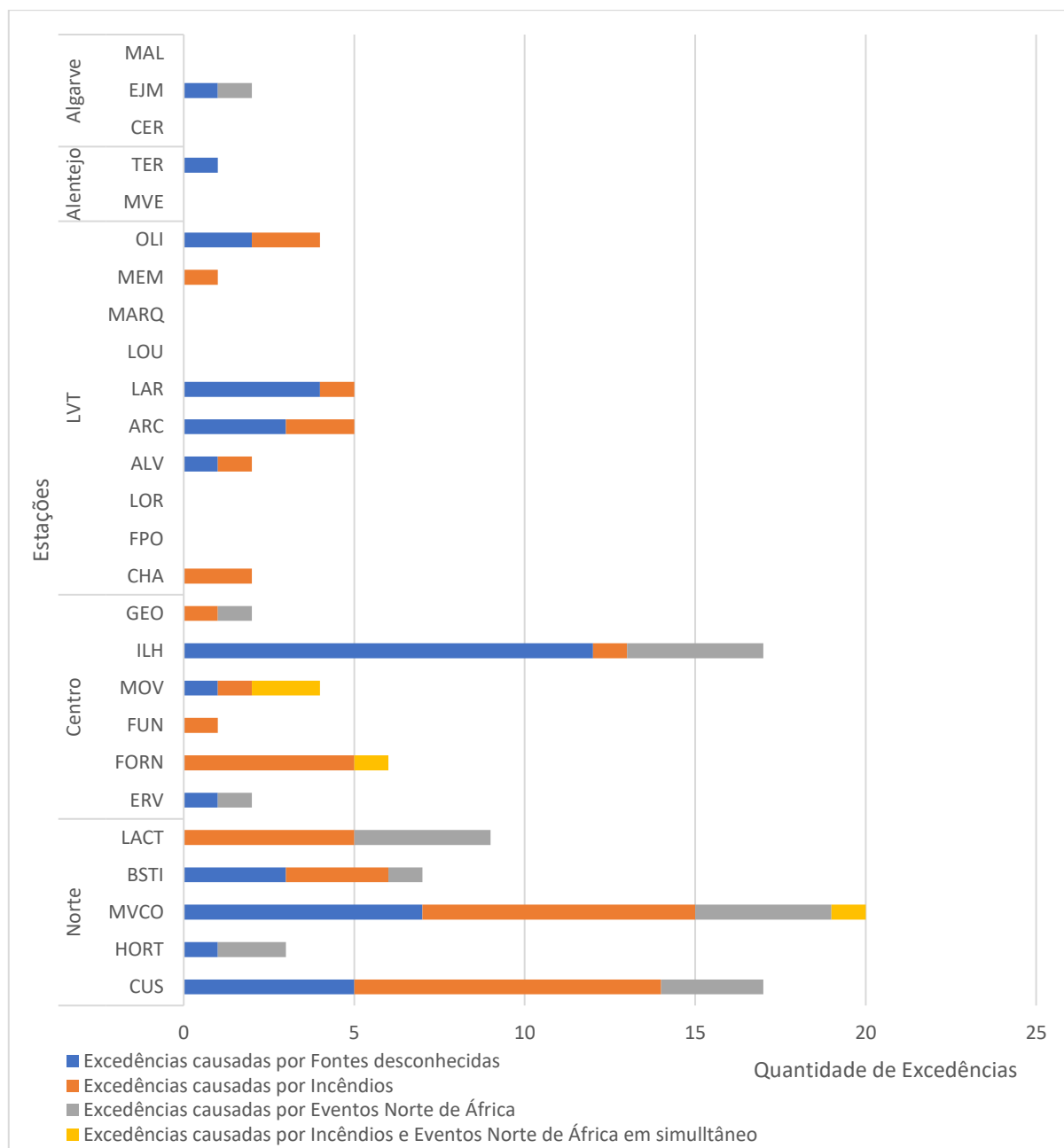


Figura 4.44 - Quantidade de excedências por estação em 2013

Em termos de excedências totais, no ano de 2013, foram detetadas 110 excedências entre todas as estações ao longo do ano. Destacam-se as estações de Mindelo-Vila do Conde (MVCO), Ílhavo (ILH) e Custóias-Matosinhos (CUS), devido à sua quantidade de excedências, tendo sido detetadas 20 excedências na estação de Mindelo-Vila do Conde, e 17 nas estações de Ílhavo e Custóias-Matosinhos (CUS). Assim, descontando as excedências derivadas das ocorrências de incêndios e eventos naturais do Norte de África, foi então possível obter 42 excedências entre todas as estações, sendo estas referentes ao somatório das excedências causadas por fontes desconhecidas. Deste modo, nenhuma estação ultrapassou o VL de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mais de 35 vezes por ano civil. O desconto mais significativo

verificou-se na estação Mindelo-Vila do Conde (MVCO), onde foram descontadas 13 excedências derivadas das ocorrências de incêndios e eventos naturais do Norte de África.

De forma a observar quais são os períodos ao longo do ano de 2013 onde a qualidade do ar é mais suscetível a eventos que aumentam a concentração média de partículas, estabeleceu-se um cruzamento dos dados referentes ao somatório de área ardida e à quantidade de dias em excedência verificados para cada mês, como é possível verificar através da Figura 4.45. Deste modo é possível estabelecer a relação entre área ardida e excedências da concentração média de partículas nas estações de qualidade do ar.

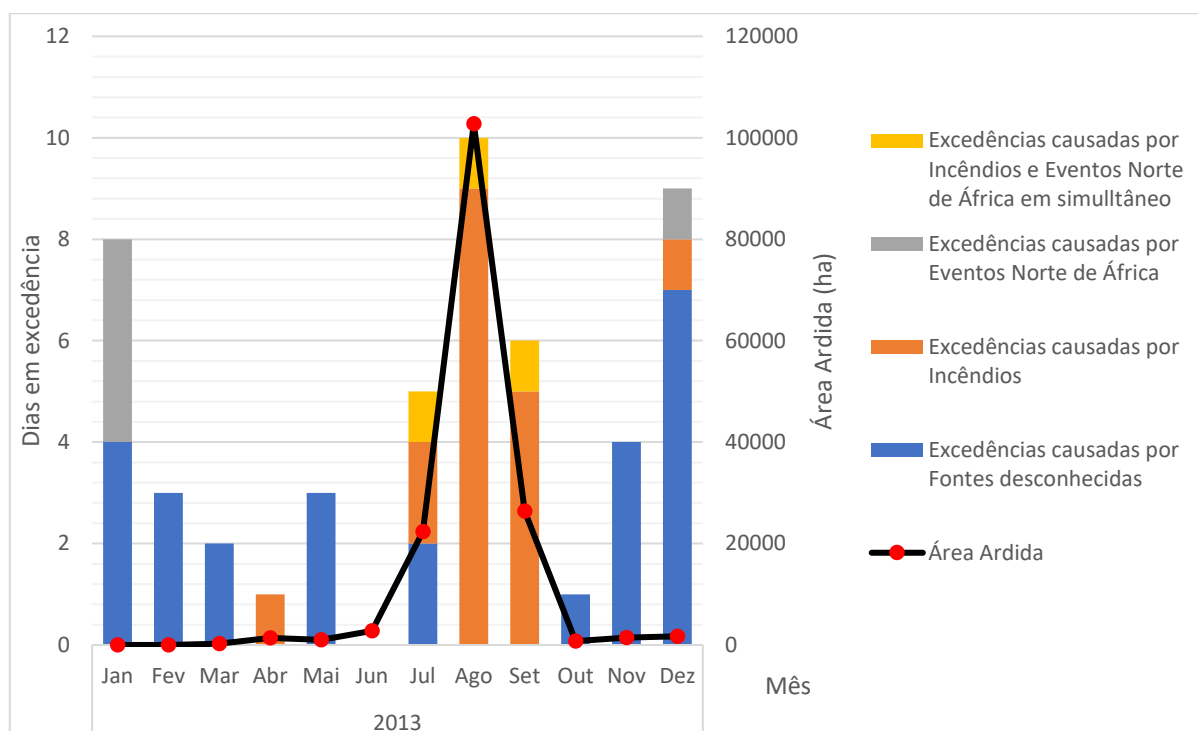


Figura 4.45 - Comparação entre a quantidade de dias em excedência ao VL diário e área ardida em 2013

Constata-se que existe uma relação entre a área ardida e as excedências causadas por incêndios. Durante os meses mais suscetíveis aos incêndios florestais, verifica-se que o VL diário de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi excedido em nove dias no mês de agosto e cinco dias no mês de setembro. Em adição, foram também identificadas excedências ao VL diário devido à ocorrência de incêndio e evento em simultâneo nos meses de julho, agosto e setembro (os quais obtiveram um dia em excedência). Contudo, nem todas as excedências se devem à ocorrência de incêndios florestais; a existência de outros eventos influencia também a concentração média das partículas, como é visível no mês de janeiro, em que se registaram quatro dias de excedência ao VL diário.

Em relação ao ano de 2014, o mesmo tipo de informação foi replicado, conforme é possível observar pela Figura 4.46, onde são apresentadas as excedências causadas por fontes desconhecidas, por incêndios, por eventos naturais do Norte de África e por incêndios e eventos naturais do Norte de África em simultâneo.

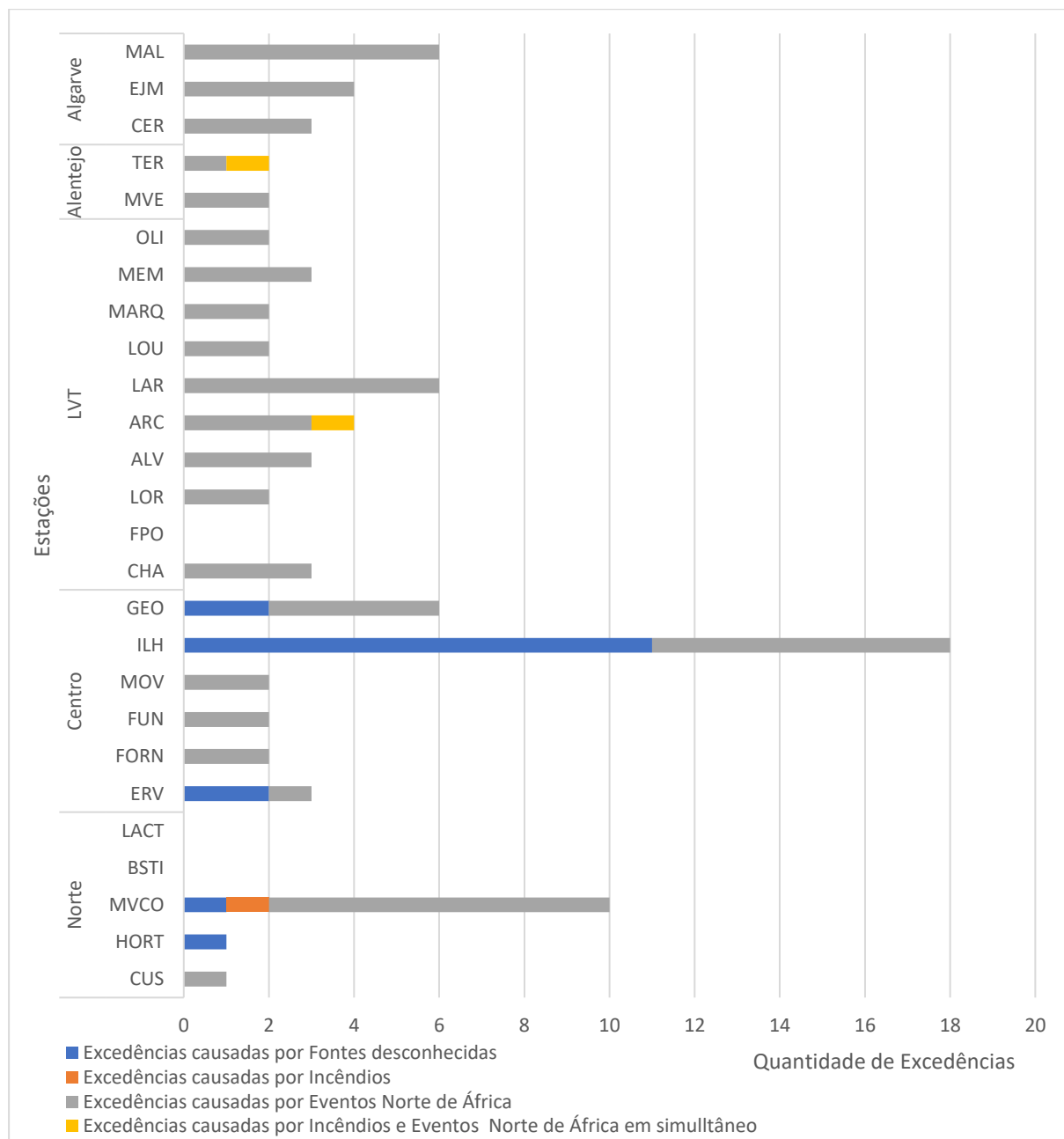


Figura 4.46 - Quantidade de excedências por estação em 2014

Em termos de excedências totais, 2014 foi o ano com menos excedências no período de análise, tendo sido detetadas 89 excedências entre todas as estações. Destacam-se as estações de Ílhavo (ILH) e Mindelo-Vila do Conde (MVCO), devido à quantidade de excedências calculadas. Foram detetadas 18 excedências na estação de Ílhavo, e 10 na estação de Mindelo-Vila do Conde (MVCO). Assim, descontando as excedências derivadas das ocorrências de incêndios e eventos naturais do Norte de África, foi então possível obter 17 excedências entre todas as estações, sendo estas

referentes ao somatório das excedências causadas por fontes desconhecidas. Deste modo, nenhuma estação ultrapassou o VL diário de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por 35 vezes por ano civil. O desconto mais representativo verificou-se na estação Mindelo-Vila do Conde, onde foram descontadas 9 excedências derivadas de derivadas das ocorrências de incêndios e eventos naturais do Norte de África.

Replicando a mesma metodologia utilizada para o ano anterior, foi estabelecido um cruzamento dos dados referentes ao somatório da área ardida com a quantidade de dias em excedência verificados para cada mês do ano de 2014, como é possível verificar através da Figura 4.47. Deste modo é possível estabelecer a relação entre área ardida e excedências da concentração média de partículas nas estações de qualidade do ar.

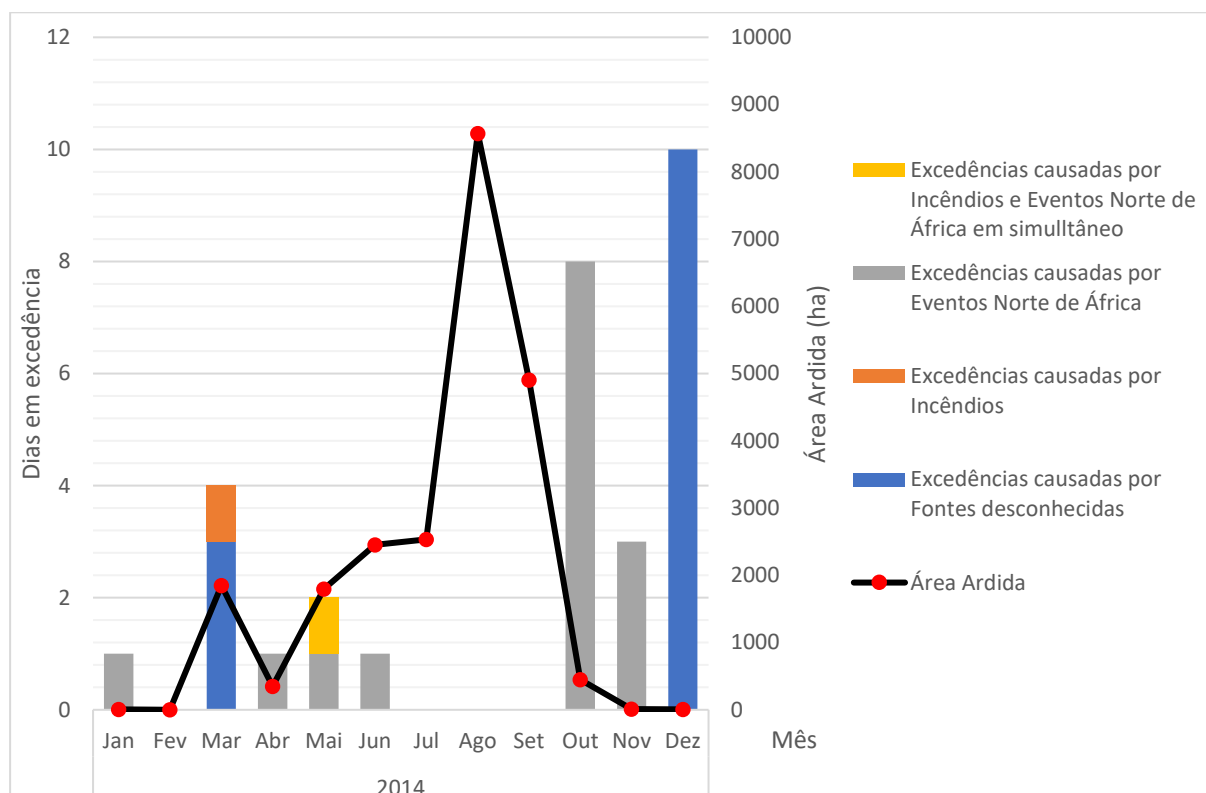


Figura 4.47 - Comparação entre a quantidade de dias em excedência ao VL diário e área ardida em 2014

Em 2014, a quantidade de ocorrências de incêndio e consequente área ardida foi inferior a 2013, não afetando de forma extrema a concentração média de partículas ao longo do ano. Foram identificados oito dias em excedência durante o mês de outubro, o qual se verificou um mês quente e com alguns episódios de poeiras provenientes dos desertos Africanos. No mês de novembro deu-se uma continuação desse mesmo episódio, tendo-se identificado três dias em excedência ao VL diário. No mês de dezembro, verificou-se um desvio negativo de 120 mm de precipitação face aos valores médios do período de 1971-2000, o que pode justificar os dias em excedência verificados para este mês, dado as fracas condições de dispersão (IPMA, 2015a).

Por fim, para o ano de 2015, foi utilizado o mesmo tipo de metodologia, conforme é possível observar pela Figura 4.48, onde são apresentadas as excedências causadas por fontes desconhecidas, por incêndios, por eventos naturais do Norte de África e por incêndios e eventos naturais do Norte de África em simultâneo.

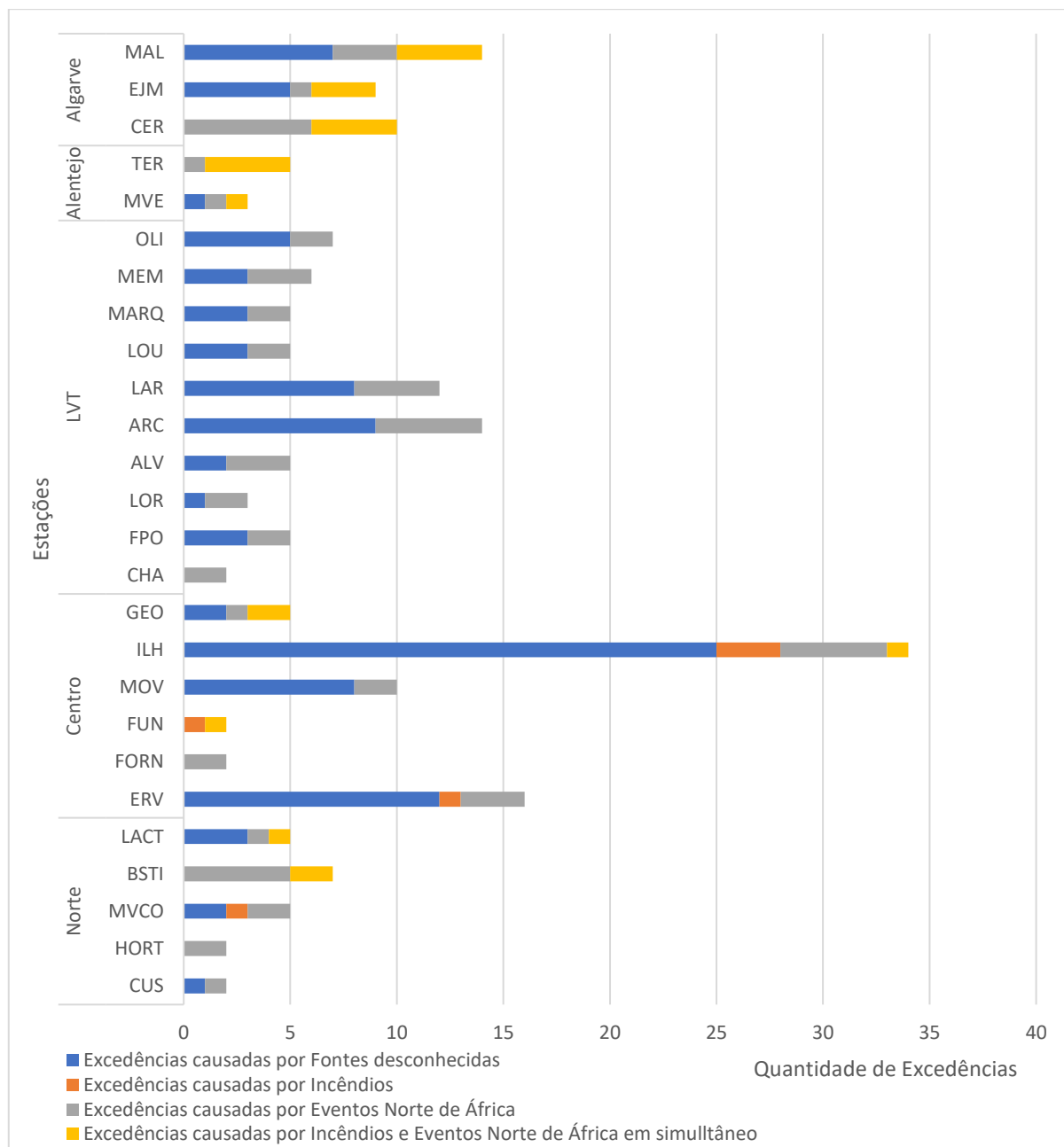


Figura 4.48 - Quantidade de excedências por estação em 2015

Em termos de excedências totais, o ano de 2015 foi bastante superior aos anos anteriores, sendo que foram detetadas 195 excedências entre todas as estações ao longo do ano. Destacam-se as estações Ílhavo (ILH), Ervedeira (VER), Arcos (ARC) e Malpique (MAL), devido a sua quantidade de excedências, tendo sido detetadas 34 excedências na estação de na estação de Ílhavo, e 16 na estação da Ervedeira (ERV) e 14 nas estações de Arcos e Malpique. Assim, descontando os dias com ocorrência de incêndios e eventos naturais do Norte de África, chegou-se ao valor de 92 excedências entre todas as

estações, todavia, nenhuma estação ultrapassou o VL diário de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a não exceder mais de 35 vezes por ano civil. A maior diferença de valores, após os descontos, registou-se na estação do Cerro (CER), em que foram removidas 10 excedências, seguida pela estação Ílhavo em que foram removidas 9 excedências.

Replicando a mesma metodologia utilizada para os anos anteriores, foi estabelecido um cruzamento dos dados referentes ao somatório da área ardida com a quantidade de dias em excedência verificados para cada mês do ano de 2015, como é possível verificar através da Figura 4.49. Deste modo é possível estabelecer a relação entre área ardida e excedências da concentração média de partículas nas estações de qualidade do ar.

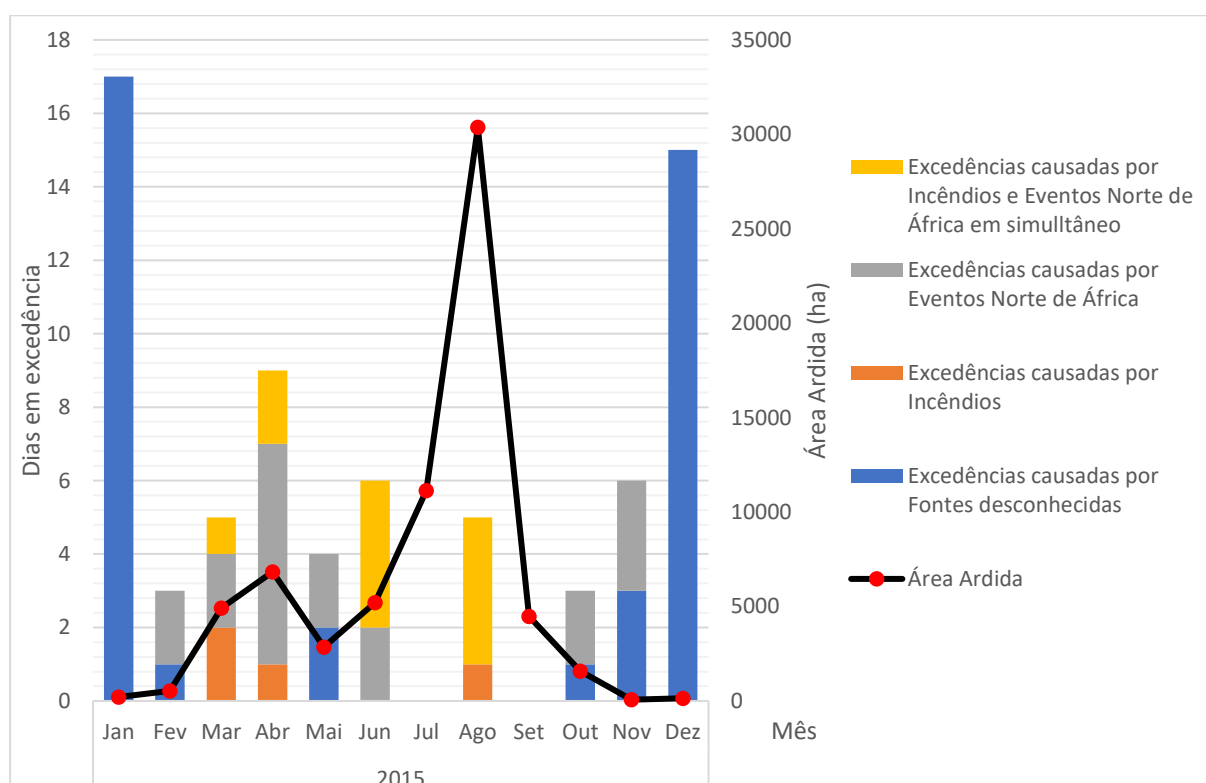


Figura 4.49 - Comparação entre a quantidade de dias em excedência ao VL diário e área ardida em 2015

Por fim, o ano de 2015 foi um ano em que se verificou um grande aumento da concentração média de partículas, apesar da quantidade de área ardida ter sido inferior à verificada em 2013. Verifica-se que durante o período crítico de incêndios florestais existem alguns dias de episódios de eventos naturais do Norte de África em conjugação com incêndios (quatro dias) e um dia em excedência devido a ocorrência de incêndios. Fora da época de incêndios, mais concretamente durante os meses de março e abril, durante o mês de abril, foram identificados cinco dias em excedência e nove dias em excedência (respetivamente) derivados de episódios relacionados com eventos naturais do Norte de África e incêndios. Contudo não é a situação mais crítica durante este ano, verificou-se que nos meses de janeiro e dezembro deu-se um total de 32 dias em excedência ao VL. Tais dias em excedência em ambos os meses, devem-se à ausência da ocorrência de precipitação e as fracas condições de dispersão.

Foi realizada uma avaliação do peso de cada tipologia de excedência face ao total de dias em excedência calculado para o período estudado (Tabela 4.2). É de notar que a estação que registou mais dias em excedência face ao VL diário de 50 µg/m³ foi Ílhavo (ILH), com 69 dias em excedência. A estação onde se verificou que os incêndios possuíram uma maior influência na quantidade de dias em excedência foi na estação de Fornelo do Monte (FORN), na região Centro, com um peso de 50%. Esta estação não possui excedências causadas por fontes desconhecidas. As estações Frossos-Braga (HORT), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR), Loures-Centro (LOU) e Quinta do Marquês (MARQ), não registaram quaisquer dias de excedência derivado de incêndios.

Tabela 4.2 - Pesos de cada tipologia de excedências em relação a cada estação para o período estudado

Região	Estações	Total de dias em excedências de cada estação	Excedências causadas por Incêndios	Excedências causadas por Incêndios e Eventos do Norte de África em simultâneo	Excedências causadas por Eventos do Norte de África	Excedências causadas por Fontes desconhecidas
Norte	CUS	20	45%	0%	25%	30%
	HORT	6	0%	0%	67%	33%
	MVCO	35	29%	3%	40%	29%
	BSTI	14	21%	14%	43%	21%
	LACT	14	36%	7%	36%	21%
Centro	ERV	21	5%	0%	24%	71%
	FORN	10	50%	10%	40%	0%
	FUN	5	40%	20%	40%	0%
	MOV	16	6%	13%	25%	56%
	ILH	69	6%	1%	23%	70%
	GEO	13	8%	15%	46%	31%
LVT	CHA	7	29%	0%	71%	0%
	FPO	5	0%	0%	40%	60%
	LOR	5	0%	0%	80%	20%
	ALV	10	10%	0%	60%	30%
	ARC	23	9%	4%	35%	52%
	LAR	23	4%	0%	43%	52%
	LOU	7	0%	0%	57%	43%
	MARQ	7	0%	0%	57%	43%
	MEM	10	10%	0%	60%	30%
	OLI	13	15%	0%	31%	54%
Alentejo	MVE	5	0%	20%	60%	20%
	TER	8	0%	63%	25%	13%
Algarve	CER	13	0%	31%	69%	0%
	EJM	15	0%	20%	40%	40%
	MAL	20	0%	20%	45%	35%

5. Casos de estudo

Na presente secção, serão analisados três casos específicos de incêndios florestais de grande magnitude que foram selecionados devido à sua dimensão e potencial influência na qualidade do ar. Os incêndios selecionados foram: o Incêndio florestal de Picões ocorrido em julho do ano de 2013, o incêndio florestal do Caramulo ocorrido em agosto de 2013, e, mais recentemente, o incêndio de Pedrogão Grande ocorrido em junho de 2017 (Figura 5.1). Para a análise da qualidade do ar foram utilizadas estações rurais de fundo, com uma eficiência superior a 75%, pois, grande parte das estações utilizadas possuíam uma eficiência aproximada ou inferior aos 85% pretendidos pela legislação.

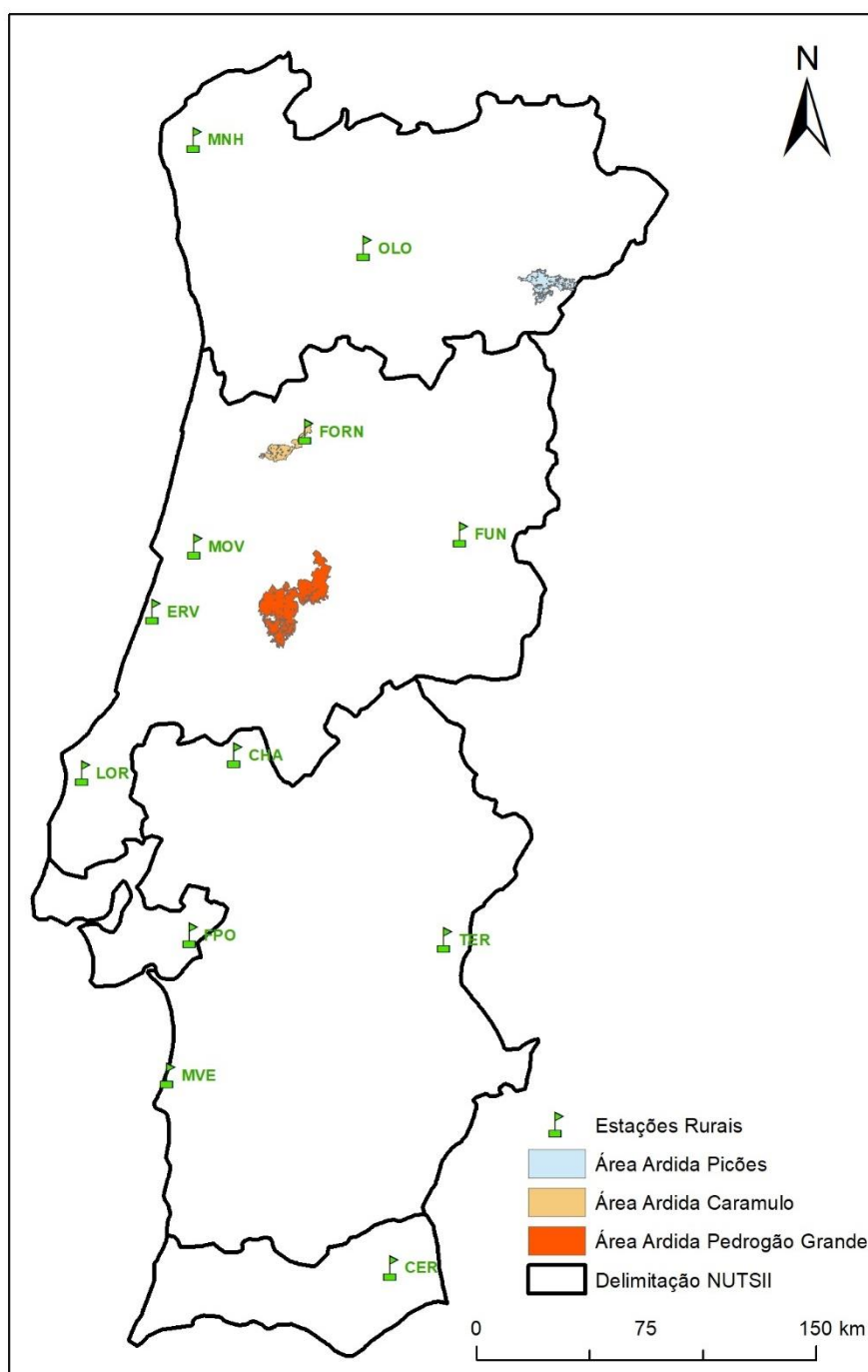


Figura 5.1 - Localização da área ardida referente a cada caso de estudo (Adaptado de ICNF, 2017b)

5.1. Incêndio florestal de Picões – Julho de 2013

5.1.1. Descrição da ocorrência

O incêndio florestal de Picões decorreu entre os dias 8 e 12 de julho de 2013, sendo até a altura o maior incêndio florestal na região do Alto Douro, sendo que, segundo o relatório de avaliação dos impactos sobre espaços florestais, decorrentes do incêndio florestal de Picões (ICNF, 2013b), foram consumidos 14 912 ha, afetando os concelhos de Alfandega da Fé, Mogadouro, Torre de Moncorvo e Freixo de Espada à Cinta. A Figura 5.2 demonstra a magnitude da área ardida, assim como os pontos de FRP captados pelo sensor MODIS.

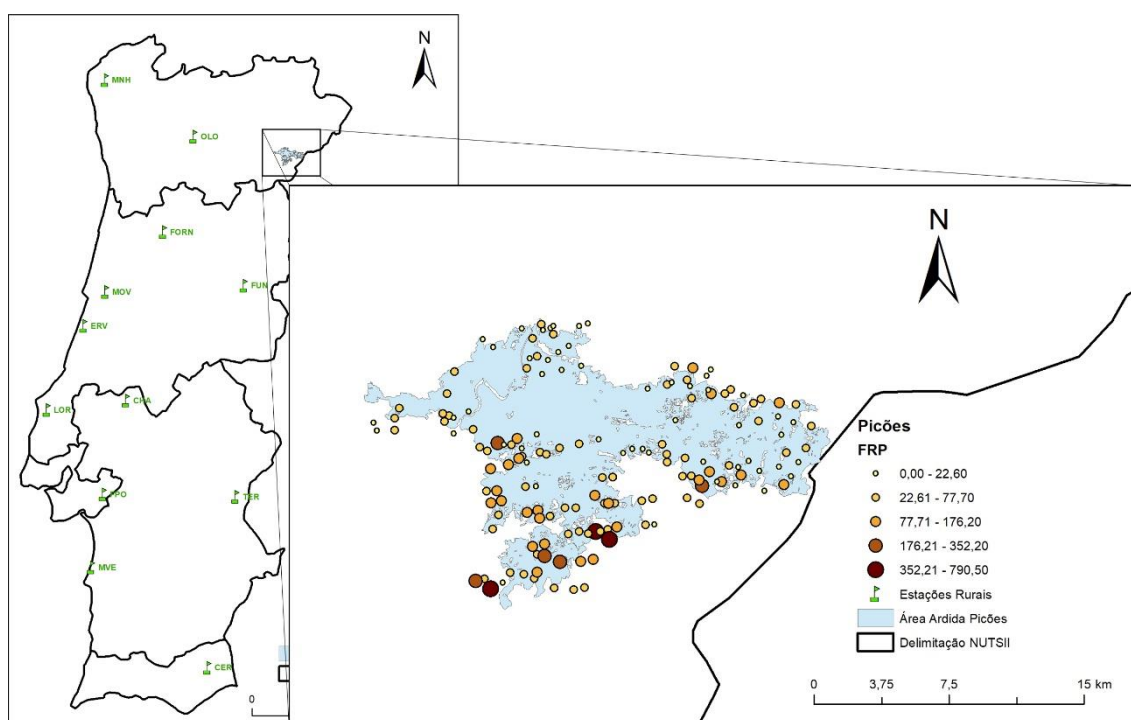


Figura 5.2 - Localização, área ardida e FRP do incêndio florestal de Picões

Segundo os dados relatados pelo ICNF (ICNF, 2013b), a sequência deste incêndio apresenta quatro momentos fulcrais, os quais influenciaram o seu comportamento e alastramento. O primeiro momento é a origem do incêndio propriamente dito, no concelho de Moncorvo, a ponte do rio Sabor, dia 8 pelas 14:45h, tendo sido dominado pelas 21h34h. O segundo momento fulcral dá-se quando existe um reacendimento, no dia 9 de julho as 13:47h, onde este toma uma postura mais agressiva e de forma explosiva transpõe o rio Sabor entrando no concelho de Mogadouro em direção às aldeias de Estevais e Meirinhos, juntando-se a outro incêndio existente pelas 19:00h. O terceiro momento acontece quando, devido à alteração da direção do vento, se dá uma nova cabeça do incêndio, que se direcionou para a EN220, atingindo a aldeia de Carviçais e a Quinta da Macieirinha pelas 20:30h. O quarto momento ocorre no dia 11 de julho quando, novamente, devido a uma alteração da direção do vento de NE para SE, o incêndio direciona-se para o lado sul da aldeia de Carviçais, onde no dia 12 de julho pelas 7:00h é dominado junto a aldeia de Mós.

5.1.2. Caracterização meteorológica e climatológica

A região afetada pelo incêndio florestal de Picões situa-se numa zona de clima temperado mediterrânico de influência continental, a pluviosidade possui uma acentuada irregularidade anual e interanual (IPMA, 2013b). As condições meteorológicas de 3 a 12 de julho foram adversas para o combate aos incêndios, devido a influência de uma massa de ar muito quente e seco, transportada na corrente de leste do interior de Espanha e do Norte de Africa. Tal massa de ar originou valores elevados de temperatura e valores muito baixos de humidade relativa do ar, conduzindo a uma ocorrência de uma onda de calor que abrangeu quase todo o território (IPMA, 2013b).

Em termos climatológicos, o mês de julho foi bastante quente, tendo sido obtido um valor médio de 23,41°C para a temperatura média do ar, em que este valor excedeu em 1,24°C o valor normal referente ao período de 1971 a 2000. Os valores de temperatura mínima e máxima foram também muito elevados e superiores aos respetivos valores médios, como possível observar na Figura 5.3, tendo sido verificado uma excedência de 0,59°C e 1,88°C, respetivamente, em relação aos valores normais. A dia 3 deu-se início uma onda de calor que abrangeu quase todo o território, tendo persistido até dia 13, a qual coincide com a ocorrência do incêndio florestal de Picões (IPMA, 2013e).

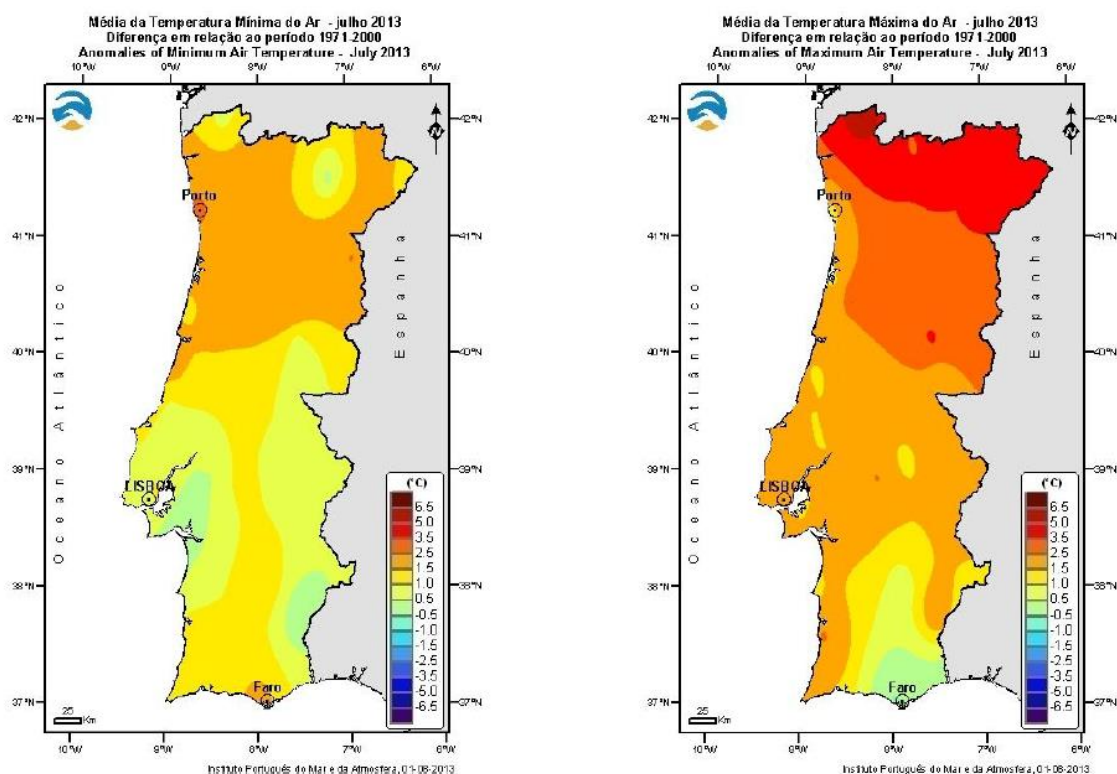


Figura 5.3 - Média da temperatura mínima e máxima do ar, em Portugal Continental, no mês de julho de 2013 (IPMA, 2013e)

Em termos de precipitação, os valores foram inferiores à quantidade normal, onde que o valor médio da quantidade de precipitação no mês de julho foi de 7.5 mm, 6.8 mm abaixo da média.

Ainda segundo o IPMA, no Relatório Mensal de Apoio Meteorológico – Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (IPMA, 2013b) , foi elaborada uma análise comparativa do índice meteorológico de risco de incêndio (FWI) para o mês de julho, em que o valor médio mensal do FWI obteve um valor de 31,84, o que se demonstrou ser um resultado um pouco acima da média quando comparado ao valor médio do período de 2001 a 2010, onde se obteve uma média de 30,67.

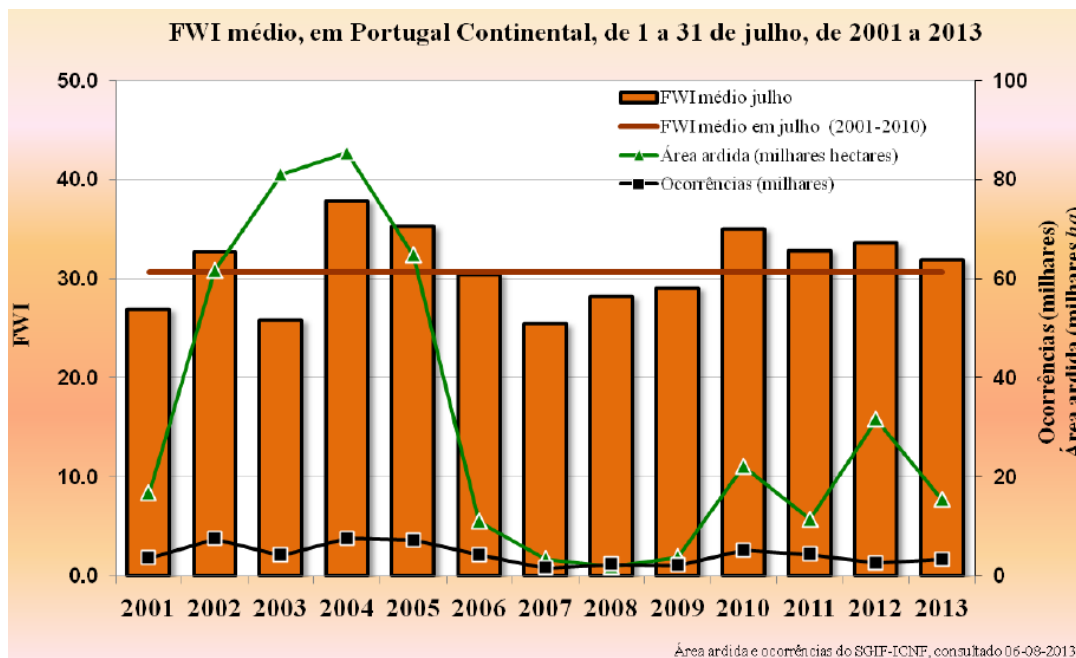


Figura 5.4 - Valores médios mensais do FWI para os anos de 2001 a 2012 e ano 2013. Respetivos valores da área ardida e número de ocorrências. (Fonte: IPMA, 2013b).

De forma a entender as condições que levaram à deflagração do incêndio florestal de Picões e consequentes emissões de poluentes, foi observada a evolução média diária do FWI durante o mês de julho em conjugação com a área ardida (Figura 5.5). Foi possível observar que os valores de FWI variam entre aproximadamente 20 no dia 15 e 48 no dia 6. Verificou-se também que os valores de FWI foram sempre superiores à média do período de 2001 a 2010, durante o início da ocorrência do incêndio florestal de Picões.

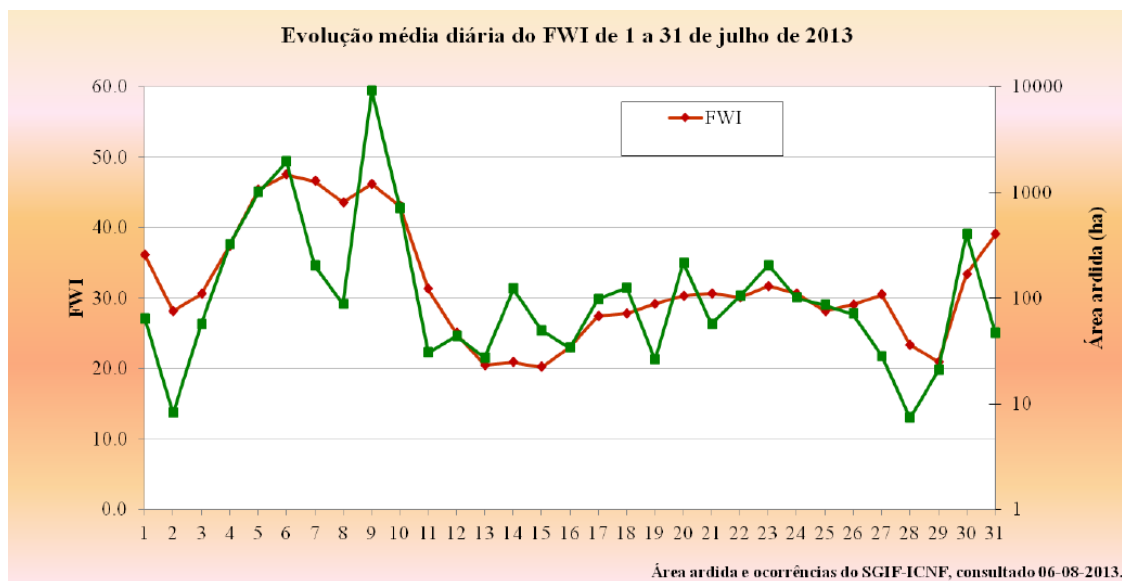


Figura 5.5 - Evolução média diária do FWI e área ardida em julho (Fonte: IPMA, 2013b).

5.1.3. Análise da qualidade do ar

De forma a entender os impactos do incêndio florestal de Picões na qualidade do ar em Portugal Continental, foram elaboradas análises à concentração de poluentes associados, direta ou indiretamente aos incêndios florestais, nomeadamente a concentração de partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2,5}$), monóxido de carbono, ozono, monóxido de azoto e dióxido de azoto.

Para tal, foi estabelecido um estudo de 31 dias, tendo sido dividido em três períodos. O primeiro período demonstra a situação da qualidade do ar antes do incêndio, tendo início a 27 de junho. O segundo período é referente à própria ocorrência do incêndio e a alguns dias após a ocorrência, de 8 a 12 de julho, demonstrando a qualidade do ar durante a ocorrência. Por fim, o terceiro período tem início a 13 de junho, e tem como objetivo demonstrar a qualidade do ar após o incêndio florestal, numa situação mais estável.

Foram utilizados os registos da potência radiativa do fogo (FRP) de forma a observar o desenvolvimento do incêndio ao longo dos 31 dias em estudo, tendo sido calculado o somatório de FRP para cada dia. No início do primeiro período o sensor MODIS detetou nos dias 29 e 30 algumas ocorrências, cujo somatório de FRP desses dias foi de 441 MW e 356 MW respetivamente. Até ao final deste período os valores registados não possuem grande magnitude. No início do segundo período, com o deflagrar do incêndio florestal de Picões, verifica-se um repentino aumento dos valores de FRP, atingindo a dia 9 um valor de 2 641 MW e a dia 10 um valor de 2 735 MW. O valor máximo deste período é registado no dia 11, com um total de 4 171 MW. Com o final do incêndio florestal de Picões, a dia, os seguintes dias registam valores de FRP bastante baixos em comparação as datas anteriores, continuando desse modo até ao final dos 31 dias de estudo.

5.1.4. Partículas em suspensão

Para a análise da concentração média de PM₁₀ (Figura 5.6), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações das regiões do Alentejo e Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA) e Fernando Pó (FPO).

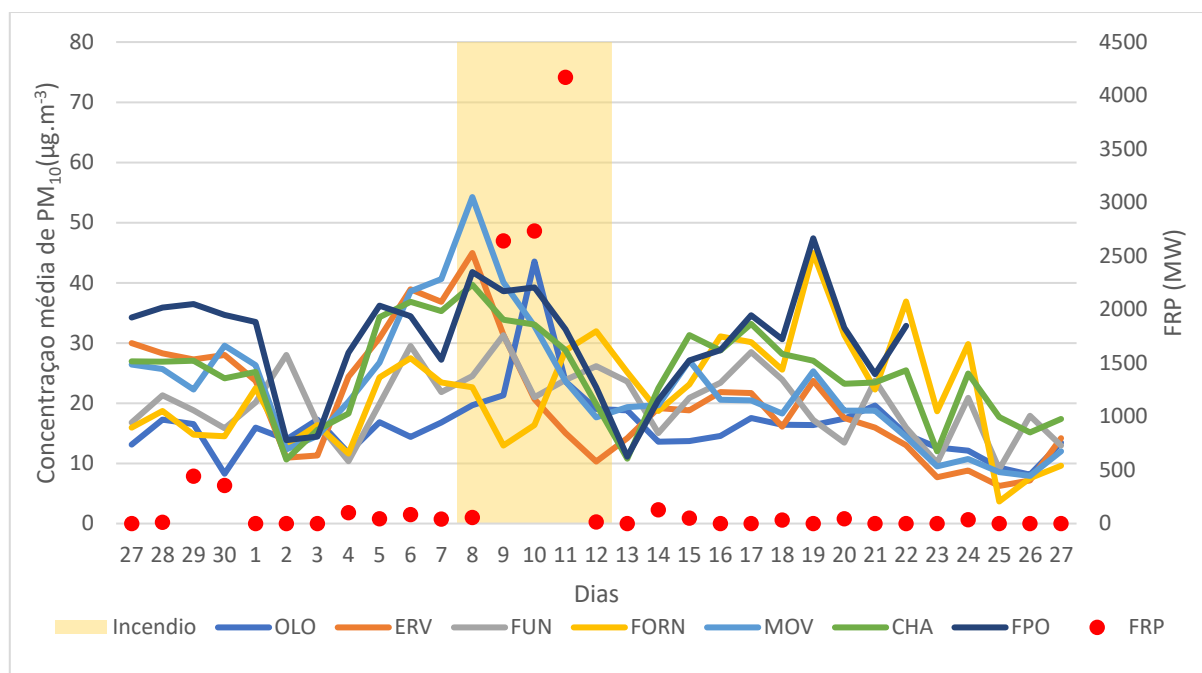


Figura 5.6 - Concentração média diária de PM₁₀ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões

No início do primeiro período verifica-se que os valores da concentração média de PM₁₀ são bastante díspares entre as estações analisadas, sendo que, a dia 27, a estação que possui a menor concentração média diária é OLO, com 13 µg/m³ e a estação com a maior concentração média diária é FPO, com valores de 34 µg/m³. Neste mesmo período verifica-se a existência de uma depressão que ocorre a dia 2, em que os valores da concentração média diária atingem valores mínimos para esse período, a exceção da estação do Fundão (FUN). Contudo, a partir do dia 4, verifica-se um aumento gradual das concentrações, potencialmente derivado de outras ocorrências detetadas nesses dias, até ao final do primeiro período. A concentração média de PM₁₀ entre todas as estações analisadas neste período foi de 23 µg/m³.

No segundo período verifica-se picos muito acentuados a partir de dia 9, em especial nas estações Montemor-o-Velho (MOV), Ervedeira (ERV) e Douro Norte (OLO), as quais registam picos de 54 µg/m³, 45 µg/m³ e 44 µg/m³ respetivamente. Após o final do incêndio, as concentrações médias de PM₁₀ diminuem bruscamente até dia 13, atingindo um mínimo entre todas as estações, para este período. Durante o segundo período a concentração média de PM₁₀ entre todas as estações analisadas foi de 28 µg/m³.

Por fim, no terceiro período é registado um novo pico de concentração média de PM_{10} no dia 19, em especial nas estações Fernando Pó (FPO) e Fornelo do Monte (FORN), em que foram registados $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} respetivamente. Passado dia 19, os níveis de PM_{10} diminuem em generalidade para todas as estações, existindo, contudo, alguns picos de concentração nos dias 22 e 24. A concentração média registada entre todas as estações analisadas para o terceiro período foi de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de PM_{10} .

Para a análise da concentração média de $PM_{2,5}$ (Figura 5.7), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Chamusca (CHA) e Fernando Pó (FPO) e Lourinhã (LOR)

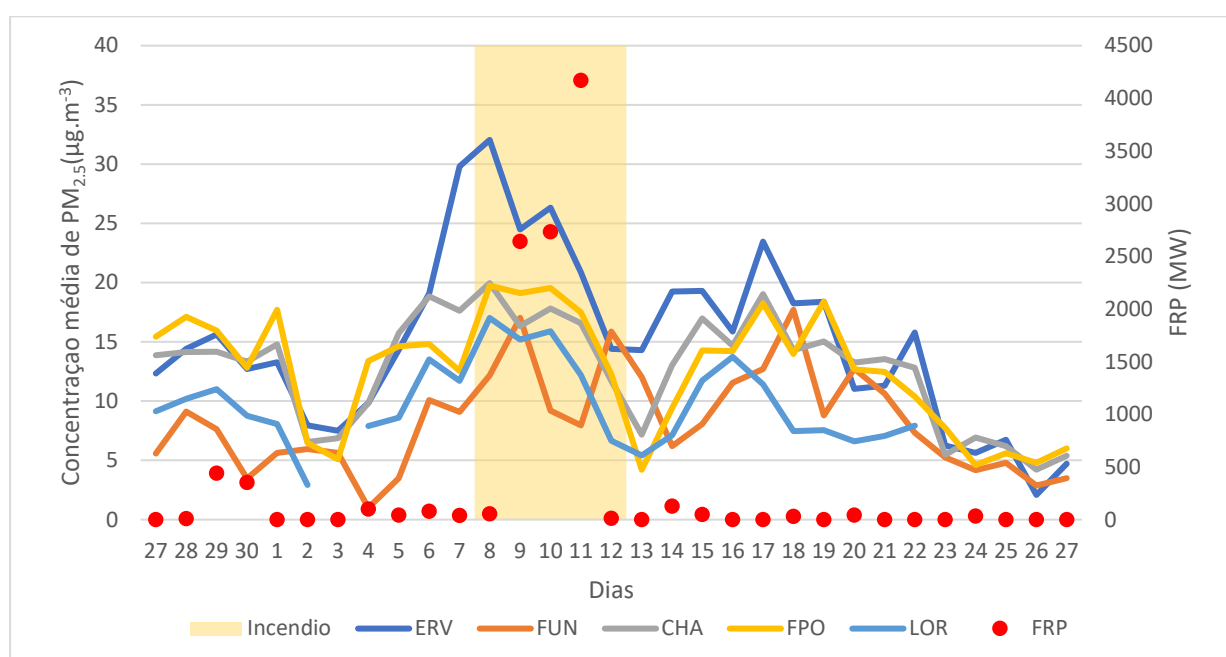


Figura 5.7 - Concentração média diária de $PM_{2,5}$ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões

Em termos de concentração média de $PM_{2,5}$, é possível verificar primeiramente que os valores para os 31 dias em estudo seguem um padrão semelhante ao verificado na concentração das PM_{10} . No primeiro período verifica-se que existe uma depressão nas medições seguida por um ligeiro aumento nos dias que antecedem o segundo período, tal verifica-se em especial na estação da Ervedeira (ERV), em que atinge um valor de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a dia 7. A concentração média de $PM_{2,5}$ entre todas as estações analisadas neste período foi de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

No segundo período, com o início da ocorrência, observa-se que a concentração média de $PM_{2,5}$ atinge logo no primeiro dia o seu máximo em todas as estações, sendo a estação da Ervedeira (ERV) a que registou o maior valor, $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 8. Após o primeiro dia deste período, os valores registados pelas estações entram em declínio, até ao último dia da ocorrência, a dia 12, verificando-se uma exceção com a estação do Fundão (FUN), a qual registou um aumento de valores de dia 11 para dia 12. Durante o segundo período a concentração média de $PM_{2,5}$ entre todas as estações analisadas foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

No terceiro período, a partir de dia 13, a concentração de $PM_{2,5}$ volta novamente a subir, atingindo o seu máximo a dia 17 em quase todas as estações, a exceção da estação do Fundão (FUN) que toma o seu máximo no dia seguinte com $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Após este período, a concentração média diminui até ao final deste período. Foi observado que a estação que obteve o maior valor de concentração média durante este período foi a estação da Ervedeira (ERV), a dia 17, com $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a concentração média registada entre todas as estações analisadas para o terceiro período foi de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de $PM_{2,5}$.

A Tabela 5.1 demonstra a análise do rácio entre as $PM_{2,5}$ e as PM_{10} em que foram utilizadas as estações Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Chamusca (CHA) e Fernando Pó (FPO). Foi calculada a média do rácio $PM_{2,5}/PM_{10}$ para dois períodos, um primeiro período fora da incidência do incêndio e um segundo período que representa os dias em que o incêndio de Picões se encontrou ativo.

Tabela 5.1 - Rácio de $PM_{2,5}/PM_{10}$ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal do Picões

Região	Centro		LVT	
Estação	ERV	FUN	CHA	FPO
Rácio fora do incêndio	0,58	0,40	0,50	0,44
Rácio durante o incêndio	0,75	0,48	0,54	0,51
Variação	↗29%	↗22%	↗7%	↗15%

O rácio calculado encontrou-se dentro dos valores espectados, visto que aumenta em todas as estações para o período relativo à duração do incêndio florestal, indicando a contribuição de partículas de menor dimensão devido à queima de biomassa. O acréscimo das concentrações de $PM_{2,5}$, durante o período de incêndio, foi superior na região Centro, contribuindo entre 22% a 29% de aumento no rácio $PM_{2,5}/PM_{10}$.

Foi então calculado um aumento de 29% e 22% em ambas as estações da região Centro face ao período sem incêndio. Já nas estações mais distantes, na região LVT, demonstram também um ligeiro aumento, mas não muito significativo.

5.1.5. Ozono

Para a análise da concentração média de O_3 (Figura 5.8), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Minho-Lima (MNH), Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO) e Lourinhã (LOR).

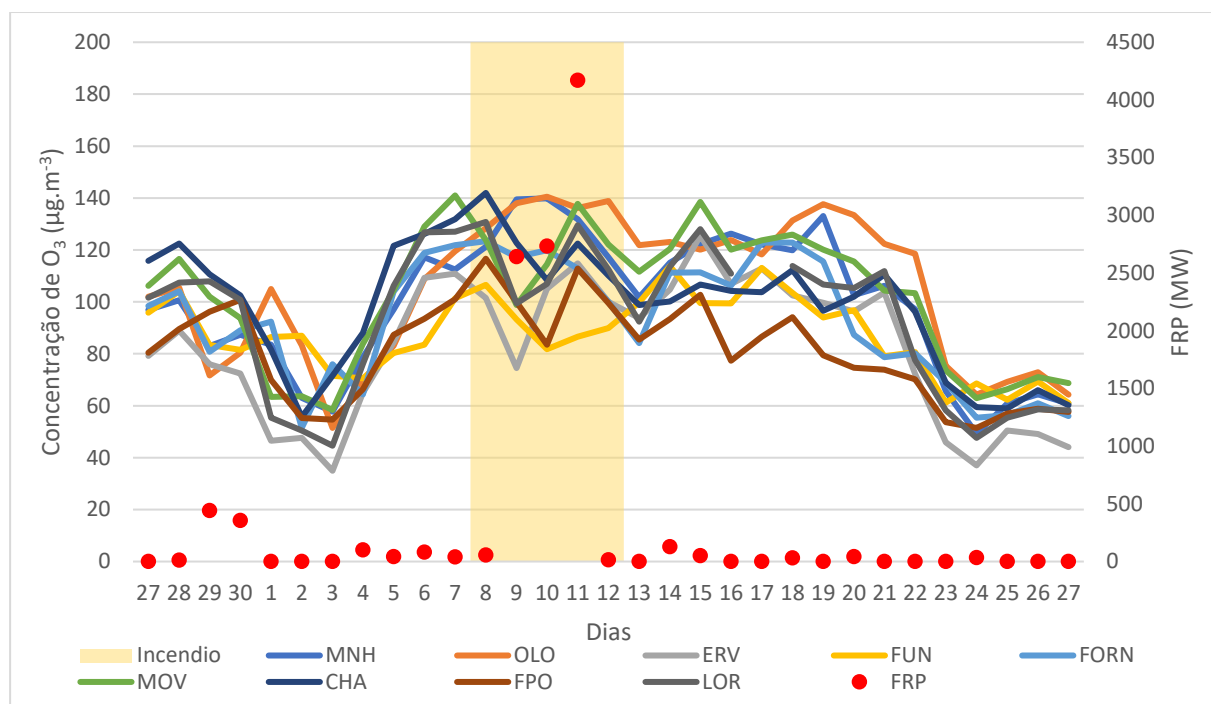


Figura 5.8 - Concentração média diária de O_3 durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões

Em termos de concentração média de O_3 , verifica-se que segue uma tendência muito semelhante à concentração média de $PM_{2.5}$. No primeiro período, no dia 5, a concentração média de O_3 situa-se entre os 80 e 120 $\mu g/m^3$ entre todas as estações analisadas, entrando em declínio até dia 11. A partir de dia 12, todas as estações demonstram obter um aumento brusco dos níveis de O_3 até ao final deste período. A concentração média de O_3 entre todas as estações analisadas neste período foi de 89 $\mu g/m^3$.

Durante o segundo período é possível observar que em quase todas as estações existem grandes oscilações nos valores de O_3 , atingindo, a dia 8, um valor máximo de 142 $\mu g/m^3$ na estação da Chamusca (CHA), e, a dia 9, um mínimo de 75 $\mu g/m^3$ na estação da Ervedeira (ERV). Durante o segundo período a concentração média de O_3 entre todas as estações analisadas foi de 115 $\mu g/m^3$.

Por fim, no terceiro período existe uma estabilização da concentração média de O_3 e uma consequente diminuição, chegando a um valor mínimo de 37 $\mu g/m^3$ no dia 24 de julho, registado na estação da Ervedeira (ERV). A concentração média registada entre todas as estações para o terceiro período foi de 91 $\mu g/m^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de O_3 .

5.1.6. Monóxido de azoto

Para a análise da concentração média de NO (Figura 5.9), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Minho-Lima (MNH), Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO) e Lourinhã (LOR).

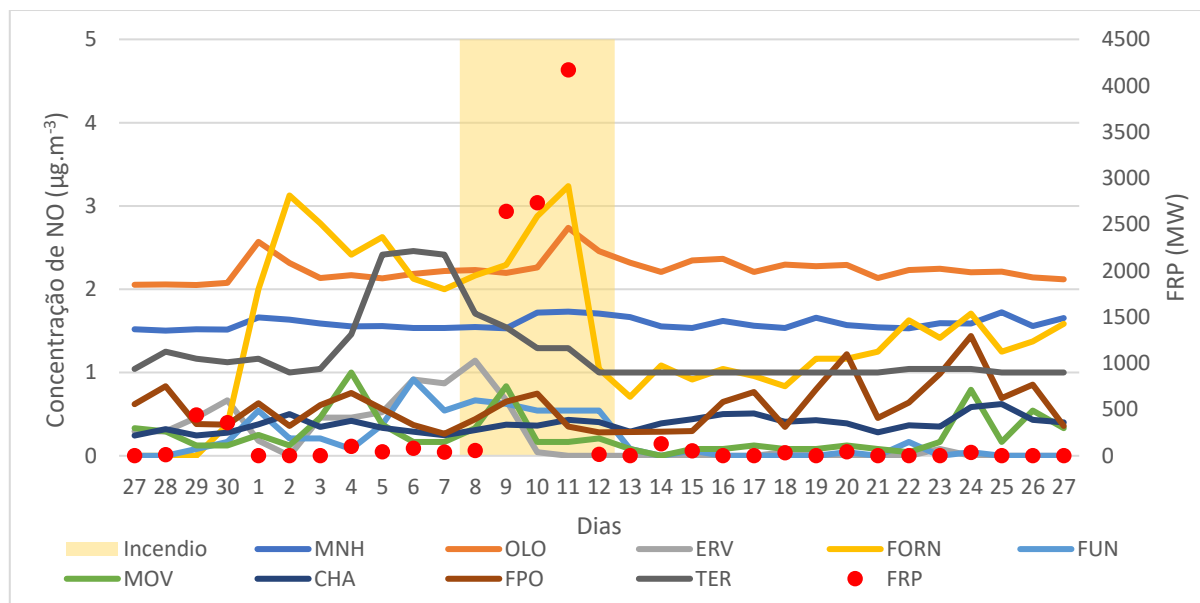


Figura 5.9 - Concentração média diária de NO durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões

A concentração média de NO, na grande maioria das estações manteve-se relativamente constante ao longo dos 31 dias de estudo. As estações Douro Norte (OLO) e Minho-Lima (MNH) demonstraram os valores mais estáveis ao longo período de análise, não existindo uma grande diferença na variação média entre períodos antes, durante e após o incêndio. Durante o primeiro período a concentração média de NO entre todas as estações foi de $0,95 \mu\text{g/m}^3$

As estações em que se registou um maior aumento face ao período sem incendio foram as estações Fundão (FUN), Ervedeira (ERV), Fornelo do Monte (FORN) e Montemor-o-Velho (MOV). No segundo período é visivelmente evidente que a estação de Fornelo do Monte (FORN) toma valores muito elevados atingindo um valor máximo de $3 \mu\text{g/m}^3$ no dia 11. No qual é coincidente com o valor máximo de FRP registado pelo sensor MODIS para este período de análise. Durante o período com a ocorrência de incendio a concentração média de NO entre todas as estações analisadas foi de $1,04 \mu\text{g/m}^3$

Com o encerramento das ocorrências no terceiro período, verifica-se uma estabilização da concentração de NO. Contudo, a estação de Fornelo do Monte (FORN) demonstra que seus valores de concentração média se encontram a aumentar de forma gradual até dia 27, o último dia deste período de análise. Em relação as restantes estações durante este período, a concentração média não excedeu os $2 \mu\text{g/m}^3$, sendo que a concentração média de NO entre todas as estações analisadas foi de $0,77 \mu\text{g/m}^3$, demonstrando deste modo a influência do incêndio sob a concentração média de NO.

5.1.7. Dióxido de azoto

Para a análise da concentração média de NO₂ (Figura 5.10), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Minho-Lima (MNH), Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO).

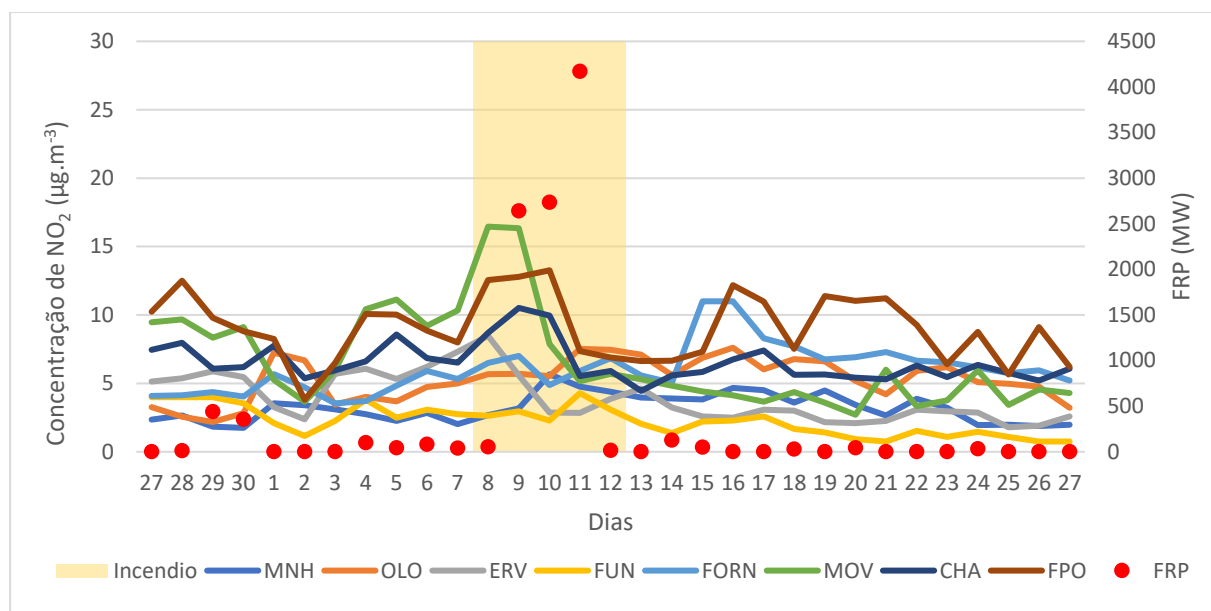


Figura 5.10 - Concentração média diária de NO₂ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Picões

Por fim, analisando as concentrações de NO₂, é possível observar que este poluente também segue um padrão semelhante aos poluentes anteriores, demonstrando que existe uma pequena depressão no dia 2 e um aumento de valores até ao dia 7, a exceção da estação Douro Norte (OLO), que entre dia 30 e dia 2, toma uma tendência oposta as restantes estações, existindo um aumento da concentração em que atinge o seu máximo durante o primeiro período, com um valor na ordem dos 7 µg/m³. A concentração média de NO₂ entre todas as estações analisadas neste período foi de 6 µg/m³.

No início do segundo período, a estação Montemor-o-Velho (MOV) regista os dois valores mais elevados, o primeiro a dia 8, onde são registados 16 µg/m³ e o segundo a dia 9, também com uma concentração média de 16 µg/m³. É possível observar um declínio após a deflagração do incêndio, até aproximadamente dia 11. Durante o segundo período a concentração média de NO₂ entre todas as estações analisadas foi de 7 µg/m³.

No terceiro período, verifica-se que as estações possuem valores baixos a dia 13 com alguma estabilização até dia 14, onde as estações Fornelo do Monte (FORN) e Fernando Pó (FPO) registam um aumento da concentração a dia 15 e dia 16, respetivamente. Observa-se, contudo, que os valores se mantêm constantes, à exceção da estação Fernando Pó (FPO) que regista valores superiores as restantes estações, com oscilações entre os 6 µg/m³ e os 11 µg/m³. Por fim, a concentração média registada entre todas as estações para o terceiro período foi de 5 µg/m³, verificando-se deste modo que existiu uma diminuição dos níveis de concentração média de NO₂ ao longo dos 31 dias de estudo.

5.1.8. Análise da trajetória e dispersão de partículas

Recorrendo ao modelo *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT) disponibilizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA), foi possível utilizar a ferramenta de trajetória arquivada de modo a observar o comportamento do transporte de poluentes ao longo da ocorrência do incêndio florestal de Picões. A utilização deste recurso conferiu a este caso de estudo, um conhecimento complementar acerca de quais foram as regiões mais influenciadas por este episódio. Deste modo, a Figura 5.11 demonstra o trajeto efetuado pelos poluentes a cada 12 horas, a partir das 18h00 de dia 8 de julho, com duração até dia 12 de julho, data de encerramento da ocorrência.

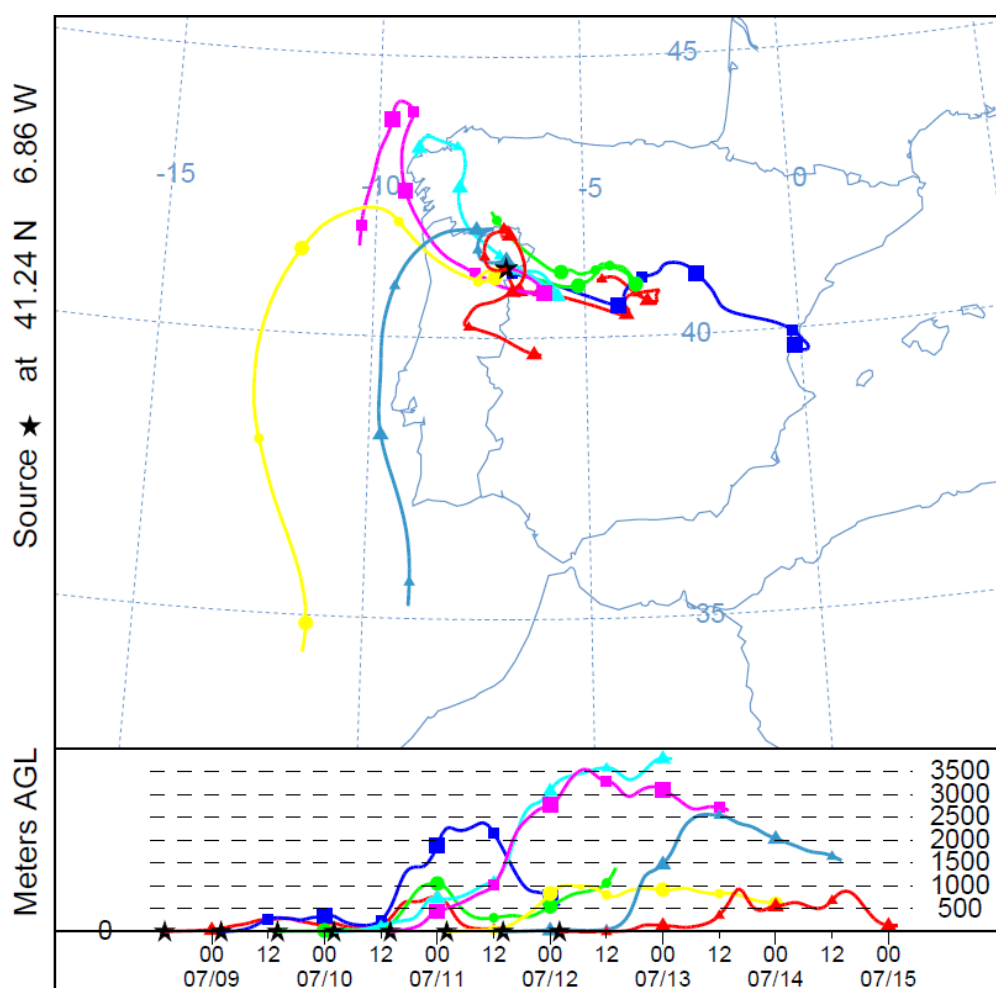


Figura 5.11 - Modelo de trajetória de partículas de dia 08 a dia 12 de julho

É então possível apurar que os poluentes originados através do incêndio florestal de Picões, foram influenciados por um vento com direção Sudeste, efetuando o transporte de partículas para o interior de Espanha. Contudo, a meados de dia 10, dá-se uma inversão desse mesmo vento levando os poluentes para a região Norte de Portugal e Galiza, sendo possível observar que a estação do Douro Norte (OLO), no dia 10 registou uma concentração média de PM_{10} de $44 \mu g/m^3$.

A dia 12, verifica-se uma nova alteração das trajetórias das partículas, as quais tomam uma direção para sul, o qual se pode confirmar através do aumento da concentração média de PM_{10} na estação de Fornelo do Monte (FORN), cujos valores obtidos para tal dia foram de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

De forma a entender tais picos de concentração das partículas PM_{10} , recorreu-se novamente ao HYSPLIT. Desta vez foi utilizado o modelo de dispersão de forma a entender qual foi a área abrangida pela pluma derivada do incêndio florestal (Figura 5.12). O modelo foi elaborado para dia 10 as 14h, com uma duração e período médio de dispersão de 24 horas, com a camada superior a 2 500 metros de altura do nível do solo.

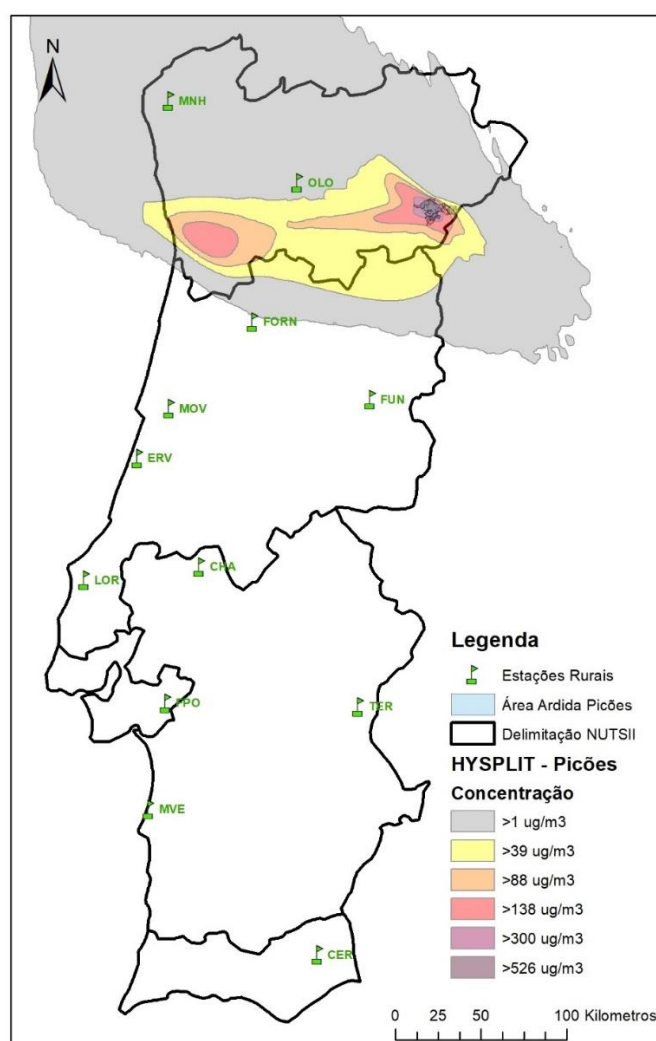


Figura 5.12 - Área de dispersão da pluma do incêndio no dia 10 de julho

Os resultados do modelo foram importados para o ArcGIS, de forma a ser possível estabelecer um cruzamento entre a área de dispersão e as estações de monitorização. Desse modo, foi possível certificar quais foram as estações de monitorização mais influenciadas. Neste caso, Douro Norte (OLO) foi a estação mais influenciada, como visto anteriormente na análise da concentração média de Partículas PM_{10} .

5.2. Incêndio florestal do Caramulo – Agosto de 2013

5.2.1. Descrição da ocorrência

Os incêndios florestais da serra do Caramulo decorreram num período entre dia 20 de agosto a 2 de setembro de 2013. A sequência de eventos deu origem a três grandes incêndios florestais, que afetaram diversas freguesias dos concelhos de Tondela, Oliveira de Frades, Vouzela, Águeda e Viseu, onde os quais, segundo o ICNF, consumiram um total de aproximadamente 9400 ha (ICNF, 2013c). A Figura 5.13 demonstra a magnitude da área ardida, assim como os pontos de FRP captados pelo sensor MODIS.

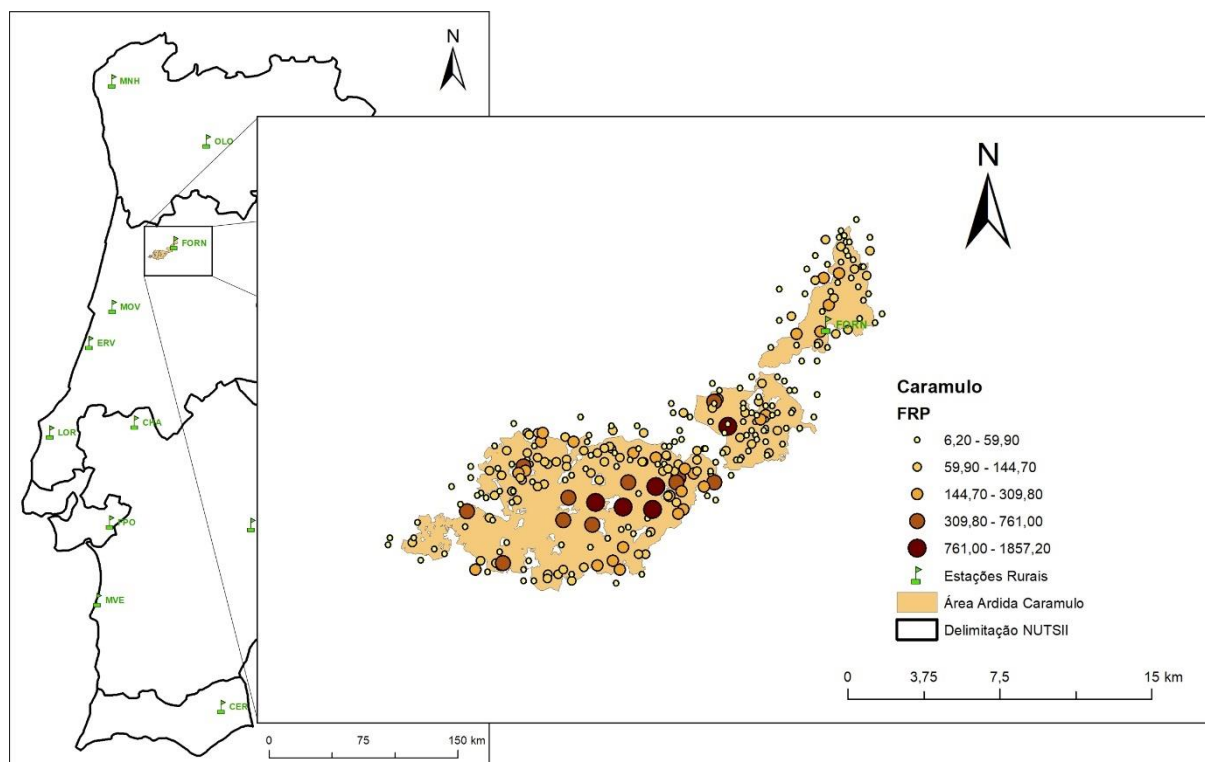


Figura 5.13 - Localização, área ardida e FRP do incêndio florestal do Caramulo

Segundo os dados relatados pelo ICNF, a sequência de eventos que deu origem a estes incêndios florestais, teve origem a dia 20 de agosto, pelas 23h54, na freguesia de Alcofra, onde foram consumidos 1 522 ha. Foram afetados os concelhos de Tondela, Oliveira de Frades e Vouzela. A conclusão desta ocorrência deu-se no dia 25 de agosto. A segunda ocorrência dá-se a dia 21 de agosto, às 00h25, junto de Silveiras, concelho de Tondela, onde foram consumidos 13 456 ha. Foram afetados os concelhos de Tondela, Vouzela e Viseu. O encerramento desta ocorrência foi dado no dia 29 de agosto. Por fim, a terceira ocorrência teve início no dia 28 de agosto, às 11h05, no Caramulo, freguesia de Guardão. Foi a maior das três ocorrências, tendo sido registados pelo ICNF 6 548 ha de área ardida. Esta ocorrência afetou os concelhos de Tondela, Oliveira de Frades e Águeda. O encerramento desta ocorrência deu-se no dia 2 de setembro.

5.2.2. Caracterização meteorológica e climatológica

A região afetada pelo incêndio florestal do Caramulo situa-se numa zona de clima temperado mediterrânico de influência atlântica, a pluviosidade possui uma acentuada irregularidade anual e interanual (ICNF, 2013c). As condições meteorológicas durante o mês de agosto foram adversas para o combate aos incêndios florestais. A partir de dia 19 de agosto, devido ao anticiclone dos Açores, Portugal Continental ficou sob a influência de ar quente e seco, tendo sido registados com alguma frequência valores muito baixos de humidade relativa no interior das regiões Norte e Centro. O vento teve uma direção nordeste com intensidade moderada a forte (IPMA, 2013a).

Em relação às condições climatológicas, o mês de agosto foi caracterizado por valores de temperatura média do ar, temperatura mínima e temperatura máxima bastante superiores ao normal, em especial na região Centro. Agosto foi um mês quente e seco, em que o valor médio da temperatura média do ar em agosto, 23.40 °C, foi +1.25 °C superior ao valor normal.

Os valores médios da temperatura mínima e máxima do ar também foram superiores ao normal em +0.35 °C e +2.16 °C, respetivamente. Posto isto, verificou-se que o número de dias com temperatura mínima igual ou superior a 20°C e o número de dias com temperatura máxima igual ou superior a 30 e 35 °C, também obtiveram valores acima do normal (IPMA, 2013a), como possível observar na Figura 5.14.

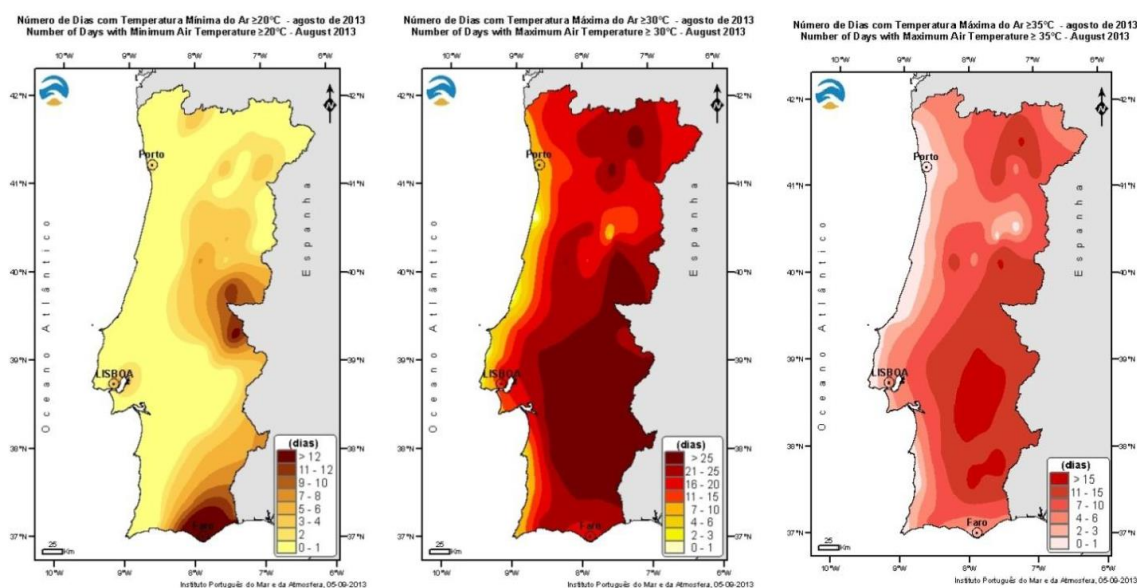


Figura 5.14 - Número de dias com temperatura mínima do ar $\geq 20^{\circ}\text{C}$, temperatura máxima do ar $\geq 30^{\circ}\text{C}$, e temperatura máxima do ar $\geq 35^{\circ}\text{C}$, em Portugal Continental, no mês de agosto de 2013 (IPMA, 2013)

Em termos de precipitação, os valores foram inferiores à quantidade normal, onde que o valor médio da quantidade de precipitação no mês de agosto foi de 1.5 mm, 12.2 mm abaixo da média (IPMA, 2013d).

Ainda segundo o IPMA, no Relatório Mensal de Apoio meteorológico – Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais de agosto de 2013 (IPMA, 2013a), foi elaborada uma análise comparativa do índice meteorológico de risco de incêndio (FWI) para o mês de agosto, em que o valor médio mensal do FWI obteve um valor de 36,5, o que se demonstrou serem resultados elevados quando comparado ao valor médio do período de 2001 a 2010, onde se obteve uma média de 31,6. O ano de 2013 foi, até a data, o ano com o 3º maior índice de FWI durante o período de 2001 a 2013.

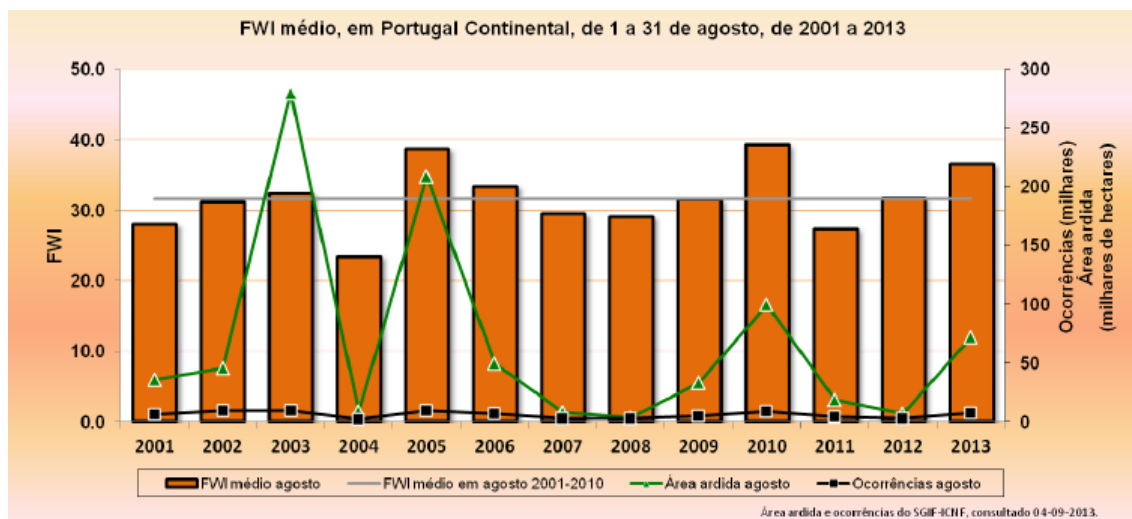


Figura 5.15 - Valores médios mensais do FWI para os anos de 2001 a 2013 e respetivos valores da área ardida e número de ocorrências. Fonte de ocorrências e área ardida (Fonte: IPMA, 2013a)

De forma a entender as condições que levaram ao alastramento do incêndio do Caramulo e consequentes emissões de poluentes, foi observada a evolução média diária do FWI durante o mês de agosto em conjugação com a área ardida (Figura 5.16). Foi possível observar que os valores de FWI variam entre os 32,18 no dia 30 e 44,75 no dia 21, sendo este dia coincidente com o 2º dia do incêndio florestal da serra do Caramulo. Verificou-se também que os valores de FWI ao longo do mês de agosto foram sempre superiores à média do período de 2001 a 2010.

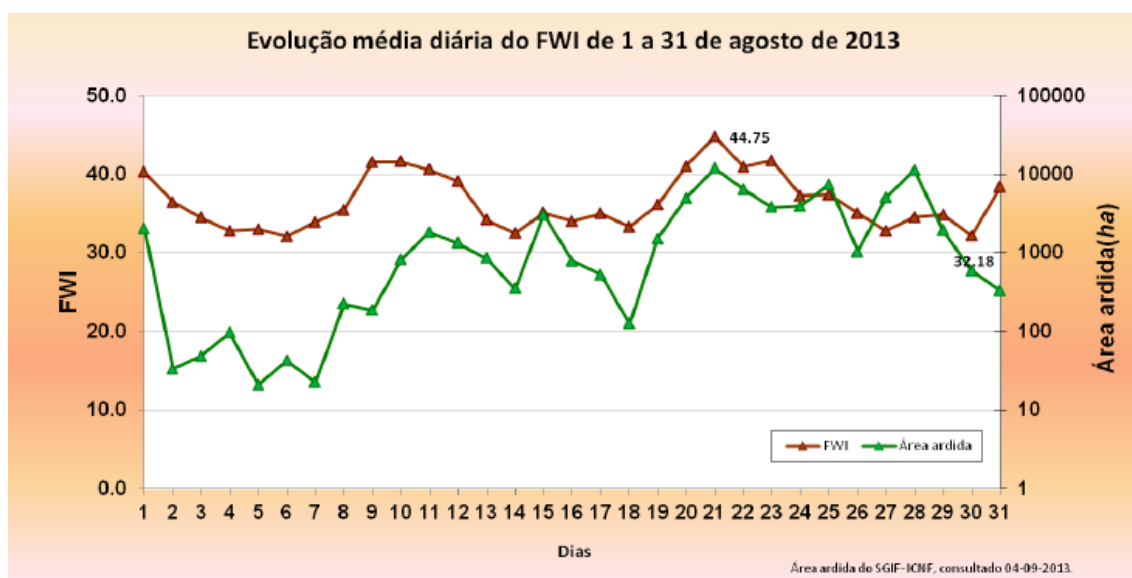


Figura 5.16 - Evolução média diária do FWI e área ardida em agosto. Fonte de ocorrências e área ardida (Fonte: IPMA, 2013a)

5.2.3. Análise da qualidade do ar

De forma a entender os impactes dos incêndios florestais do Caramulo na qualidade do ar em Portugal Continental, foram elaboradas análises à concentração de poluentes derivados de incêndios florestais, nomeadamente à concentração de partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2,5}$), monóxido de carbono, ozono, monóxido de azoto e dióxido de azoto.

Para tal, foi estabelecido um estudo de 31 dias, tendo sido dividido em três períodos. O primeiro período demonstra a situação da qualidade do ar antes do incêndio, tendo início a 11 de agosto. O segundo período é referente a duração das três ocorrências, tendo início com a primeira ocorrência a 20 de agosto e terminando com a terceira ocorrência a 2 de setembro. Por fim, o terceiro período tem início a dia 3 de setembro, e tem como objetivo mostrar a qualidade do ar após o incêndio florestal em estudo.

Foram utilizados os registos de FRP de forma a observar o desenvolvimento do incêndio ao longo dos 31 dias em estudo, tendo sido calculado o somatório de FRP para cada dia. No âmbito dos incêndios florestais do Caramulo, não foram registadas ocorrências de FRP para o primeiro e terceiro período de análise. No segundo período, após o deflagrar do incêndio, o sensor MODIS detetou ocorrências nos dias 21 e 22, cujo somatório de FRP desses dias foi de 4 066 MW e 2 005 MW respetivamente. A dia 28, quando se dá o início do terceiro incêndio é registada uma ocorrência com um FRP de 3 129 MW, contudo o seguinte dia é muito mais intenso, assinalando o pico deste incêndio florestal, chegando a um valor de 16 792 MW. Por fim, no dia 30 o sensor MODIS regista uma diminuição dos valores de FRP, com cerca de 3 679 MW, assinalando o encerramento destas ocorrências.

5.2.4. Partículas em suspensão

Para a análise da concentração média de PM₁₀ (Figura 5.6), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Minho-Lima (MNH), Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR), Monte Velho (MVE) e Terena (TER)

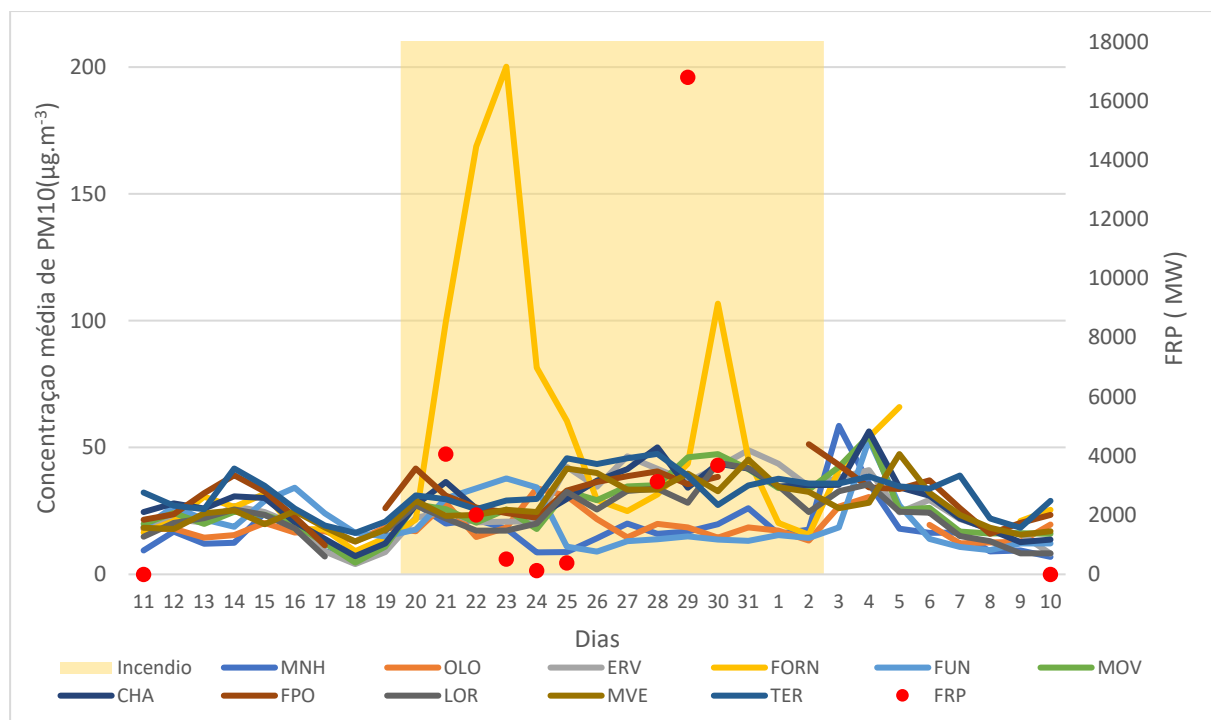


Figura 5.17 - Concentração média de PM₁₀ durante o incêndio florestal do Caramulo

No início do primeiro período verifica-se que os valores da concentração média de PM₁₀ são bastante semelhantes entre as estações analisadas, seguindo todas a mesma tendência ao longo deste período. Contudo existe uma pequena exceção a dia 14, onde é registado um pico de concentração média nas estações de Fernando Pó (FPO) e Terena (TER), chegando a um valor aproximado de 40 µg/m³. Após este pico, as concentrações médias das estações baixam, chegando a um ponto mínimo no dia 18. A concentração média de PM₁₀ entre todas as estações analisadas neste período foi de 20 µg/m³.

O segundo período é caracterizado pelas concentrações extremas registadas através da estação de Fornelo do Monte (FORN), onde a dia 23 foram registadas concentrações médias na ordem dos 200 µg/m³, tais concentrações justificam-se devido à estação de monitorização se encontrar inserida dentro do local da ocorrência. Já a dia 30, a estação de Fornelo do Monte (FORN) voltou a apresentar valores de concentração média muito superiores as restantes estações, com valores na ordem dos 107 µg/m³. Ainda durante este período, verifica-se a existência de dois grupos de estações, sendo que um grupo demonstra picos de concentração média de PM₁₀ a aumentar com o agravar das ocorrências de incêndio, sendo este grupo composto pelas estações ver, Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR), Monte Velho (MVE) e Terena (TER),

e um outro grupo, composto pelas estações Douro Norte (OLO), Minho-Lima (MNH) e Fundão (FUN), em que não se registam alterações dos seus valores de concentração média de PM₁₀. Durante o segundo período a concentração média de PM₁₀ entre todas as estações analisadas foi de 33 µg/m³.

Por fim, no terceiro período é registado um novo pico de concentração média de PM₁₀ nos dias 3, 4 e 5, logo após o encerramento dos incêndios florestais do Caramulo. Após dia 5, os níveis de PM₁₀ diminuem entre todas as estações e a concentração média registada entre todas as estações analisadas para o terceiro período foi de 26 µg/m³, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de PM₁₀.

Para a análise da concentração média de PM_{2,5} (Figura 5.7), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR) e Monte Velho (MVE).

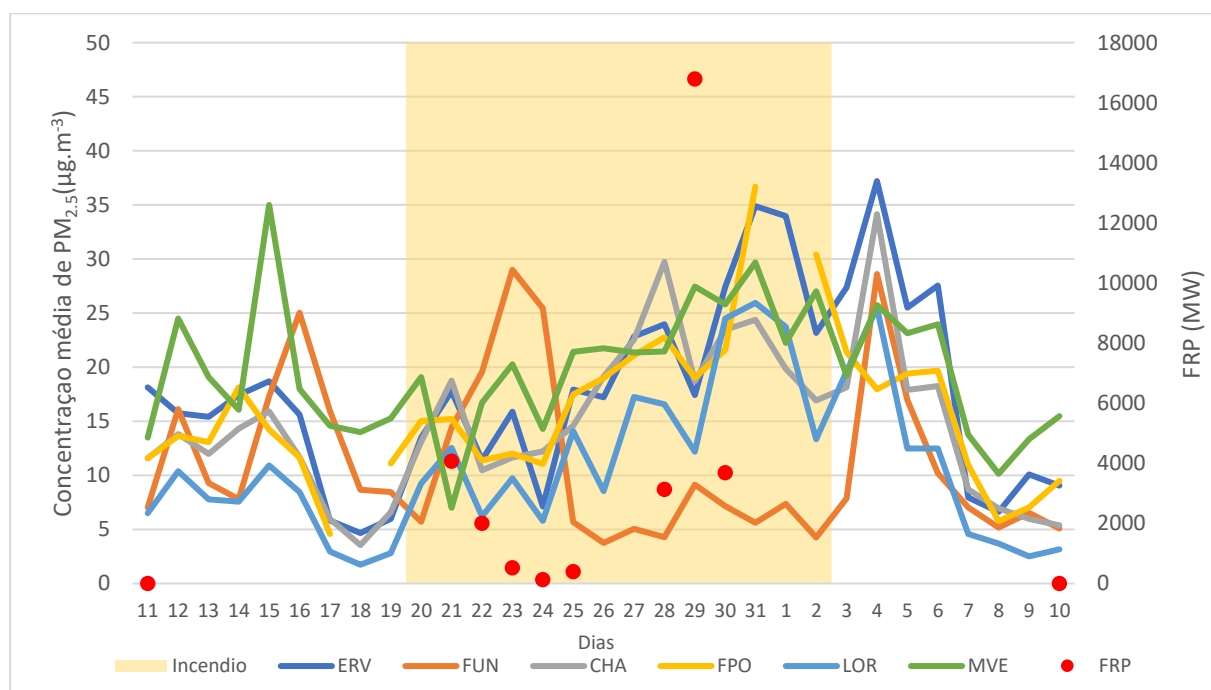


Figura 5.18 - Concentração média de PM_{2,5} durante o incêndio florestal do Caramulo

Em termos de concentração média de PM_{2,5}, é possível que esta segue um padrão semelhante às concentrações de PM₁₀, nos 31 dias de estudo. No primeiro período verifica-se que a estação de Monte Velho (MVE) possui valores de concentração média superiores às restantes estações, onde a dia 15 atinge a sua concentração média diária máxima no estudo dos 31 dias, com um valor de 35 µg/m³. São também verificados, na estação do Fundão (FUN), dois picos de concentração a dia 12 e dia 16 com valores na ordem dos 16 µg/m³ e 25 µg/m³ respetivamente. Ainda no primeiro período, verifica-se que existe uma depressão nas medições a dia 18, seguida por um aumento nos dias que antecedem o segundo período, exceto na estação do Fundão (FUN), que continua a demonstrar valores baixos ao entrar no segundo período. A concentração média de PM_{2,5} entre todas as estações analisadas neste período foi de 12 µg/m³.

No segundo período, com o início da ocorrência, observa-se que a concentração média de $PM_{2,5}$ aumenta em quase todas as estações até dia 21, sendo esta o pico da primeira ocorrência no incêndio florestal da serra do Caramulo. Contudo, a dia 21, a estação de Monte Velho (MVE) demonstra uma tendência contrária às restantes estações, não detetando partículas provenientes dessa mesma ocorrência. Com o avançar do incêndio florestal, verifica-se um aumento gradual em quase todas as estações, a exceção da estação do Fundão (FUN) que toma valores sempre inferiores a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ até ao final deste período. Com o culminar da terceira ocorrência, verifica-se que as estações registam os seus valores máximos de concentração média de $PM_{2,5}$ para este período. Durante o segundo período a concentração média de $PM_{2,5}$ entre todas as estações analisadas foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por fim, no terceiro período, verifica-se que as $PM_{2,5}$ seguem a mesma tendência das PM_{10} , em que registam um pico de valores a dia 4 em todas as estações analisadas, e, após dia 5, os níveis de $PM_{2,5}$ diminuem entre todas as estações, e a concentração média registada entre todas as estações analisadas para o terceiro período foi de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de $PM_{2,5}$.

A Tabela 5.2 demonstra a análise do rácio entre as $PM_{2,5}$ e as PM_{10} em que foram utilizadas as estações Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR) e Monte Velho (MVE). Foi calculada a média do rácio $PM_{2,5}/PM_{10}$ para dois períodos, um primeiro período fora da incidência do incendio e um segundo período que representa os dias em que o incendio do Caramulo se encontrou ativo.

Tabela 5.2 - Rácio de $PM_{2,5}/PM_{10}$ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal do Caramulo

Região	Centro		LVT			Alentejo
Estação	ERV	FUN	CHA	FPO	LOR	MVE
Rácio fora do incêndio	0,71	0,55	0,49	0,46	0,42	0,74
Rácio durante o incêndio	0,59	0,49	0,52	0,44	0,48	0,64
Variação	↘17%	↘11%	↗6%	↘6%	↗15%	↘13%

O incêndio florestal do Caramulo possuiu rácios com valores diferentes do esperado. As estações CHA e LOR foram as únicas em que o cálculo do rácio obteve uma variação positiva, ou seja, um aumento do rácio face ao período fora episódio de incêndio. Contudo, tal aumento foi muito pequeno. As restantes estações demonstram valores de rácio opostos ao esperado, sendo que o rácio calculado enquanto o incendio se encontrava ativo é inferior ao rácio calculado para o período fora do episódio do mesmo.

A maior variação calculada verificou-se na estação da Ervedeira (ERV), a qual demonstra um decréscimo de 17% em relação ao período sem incendio. Dado que a estação da Ervedeira (ERV) encontra-se dentro da área de dispersão da pluma do incendio (conforme abordado no ponto 5.2.8 Análise da trajetória e dispersão de partículas)

5.2.5. Ozono

Para a análise da concentração média de O_3 (Figura 5.19), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Minho-Lima (MNH), Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fornelo do Monte (FORN), Fundão (FUN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR) e Terena (TER)

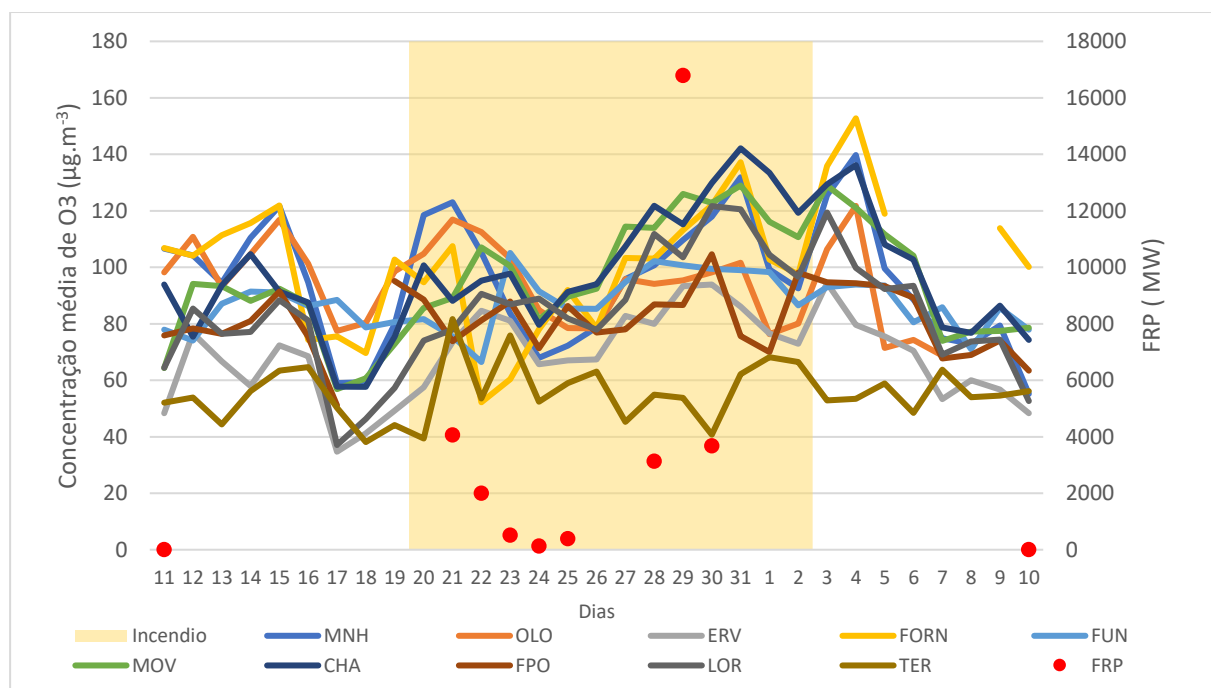


Figura 5.19 - Concentração média de O_3 durante o incêndio florestal do Caramulo

Em termos de concentração média de O_3 , verifica-se que segue uma tendência muito semelhante à concentração média de $PM_{2.5}$. No primeiro período, no dia 11, os valores de concentração média de O_3 , situam-se entre os $50 \mu g/m^3$ e $107 \mu g/m^3$ entre todas as estações analisadas. Após dia 16 verifica-se uma queda dos valores médios de O_3 , voltando a aumentar ligeiramente até ao final deste período. A concentração média de O_3 entre todas as estações analisadas neste período foi de $79 \mu g/m^3$.

Durante o segundo período, é possível verificar que com o deflagrar do incêndio os valores de O_3 sobe bruscamente, tendo sido registado um pico de valores a dia 21. No dia seguinte, tais valores diminuem e quase todas as estações de monitorização possuem um padrão semelhante, em que os valores da concentração média de O_3 , aumentam com o decorrer do incêndio florestal na serra do Caramulo. Contudo, a estação da Terena (TER) é a única que mantém os valores de concentração média de O_3 entre os $40 \mu g/m^3$ e os $80 \mu g/m^3$. Durante o segundo período a concentração média de O_3 entre todas as estações analisadas foi de $91 \mu g/m^3$.

Por fim, no terceiro período algumas estações atingem os seus valores máximos durante os 31 dias de estudo, como se pode verificar com a estação de Fornelo do Monte (FORN), que se encontra na área afetada, tendo sido registado um valor de concentração média de $119 \mu g/m^3$, a dia 3 de setembro. A partir de dia 4 de setembro, os valores da concentração média de O_3 diminuem, não existindo

diferenças significativas nos valores registados entre as estações de monitorização. A concentração média registada entre todas as estações para o terceiro período foi de $86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de O_3 .

5.2.6. Monóxido de azoto

Para a análise da concentração média de NO (Figura 5.20), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Minho-Lima (MNH), Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fornelo do Monte (FORN), Fundão (FUN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR) e Terena (TER)

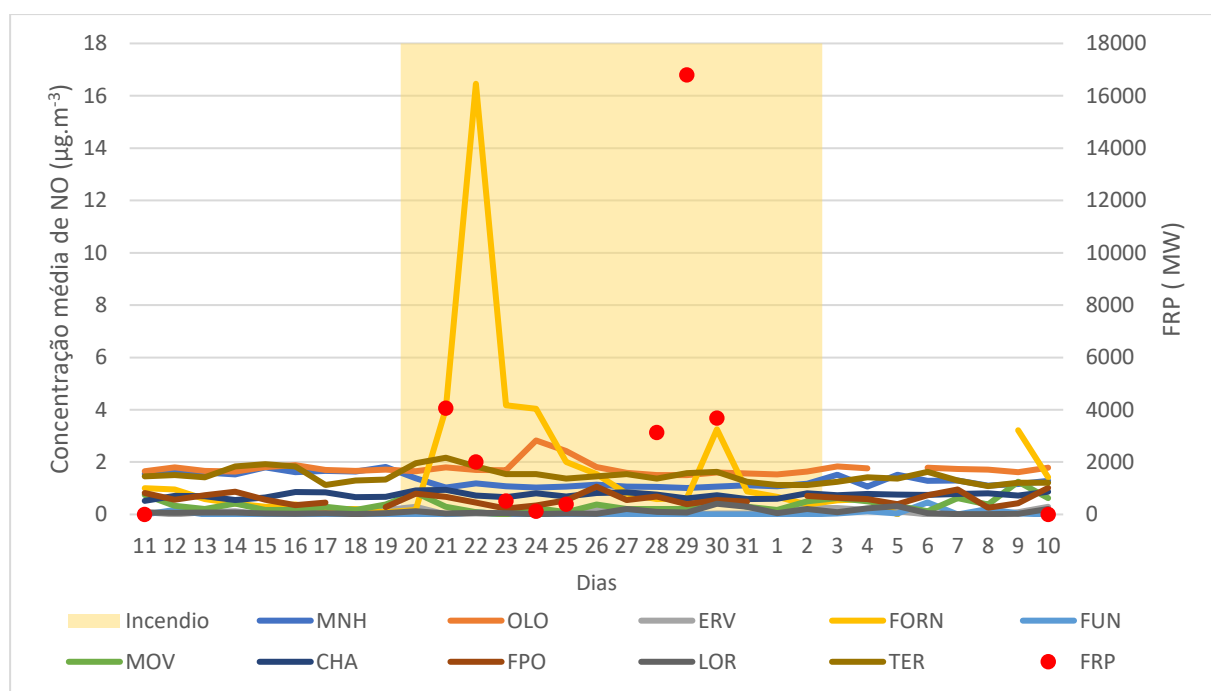


Figura 5.20 - Concentração média de NO durante o incêndio florestal do Caramulo

A concentração média de NO, na grande maioria das estações, mantém-se relativamente constante ao longo dos 31 dias de estudo, com exceção da estação de Fornelo do Monte (FORN), na qual se registam valores muito elevados de NO, seguindo um padrão semelhante ao observado nas PM_{10} . Durante o primeiro período, verifica-se que a concentração de NO nas estações é baixa, com uma média de $0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entre todas as estações.

No segundo período é visivelmente evidente que a estação de Fornelo do Monte (FORN) toma valores muito elevados, em que, a proximidade desta estação à ocorrência influenciou muito as medições visto a concentração de NO ser maior quanto mais próxima estiver à fonte emissora. Tal, é corroborado através dos valores registados no período de dia 20 a dia 22, em que é registado, respetivamente, um aumento de $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $14,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A estação Fornelo do Monte (FORN) volta, novamente, a ser influenciada por este conjunto de ocorrências, registando um aumento da concentração de NO a dia 30, com valores médios de $3,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em relação as restantes estações durante este período, existem picos na concentração média para as estações Terena (TER) e Douro-Lima (OLO), nos dias 21 e 23,

respetivamente, onde a concentração média não excedeu os 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante este período a concentração média de NO entre todas as estações analisadas foi de 0,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Com o encerramento das ocorrências no terceiro período, verifica-se uma estabilização da concentração de NO. Contudo, a estação de Fornelo do Monte (FORN) volta a registar valores elevados a dia 9 e dia 10 com 3,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 1,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Em relação as restantes estações durante este período, a concentração média não excedeu os 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que a concentração média de NO entre todas as estações analisadas foi de 0,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, demonstrando deste modo a influência do incêndio sob a concentração média de NO, mas muito devido a proximidade da estação de Fornelo do Monte (FORN) ao próprio conjunto de ocorrências.

5.2.7. Dióxido de azoto

Para a análise da concentração média de NO₂ (Figura 5.21), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Minho-Lima (MNH), Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fornelo do Monte (FORN), Fundão (FUN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR) e Terena (TER).

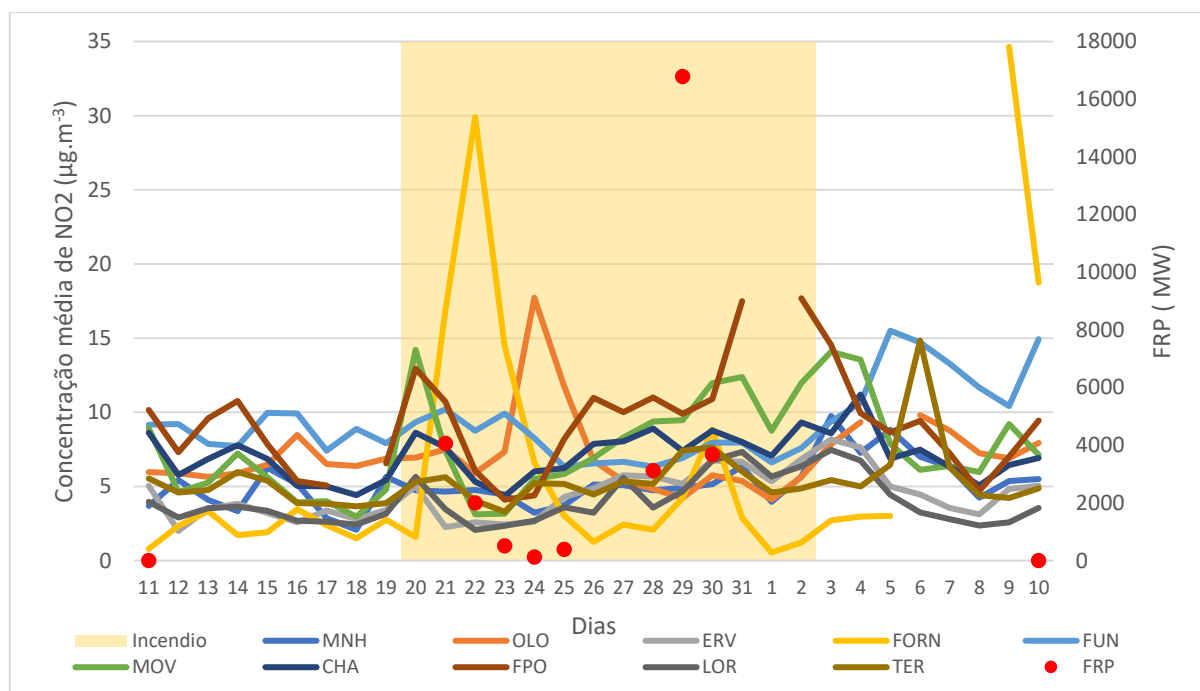


Figura 5.21 - Concentração média de NO₂ durante o incêndio florestal do Caramulo

Por fim, analisando as concentrações de NO₂, é possível observar que este poluente segue um padrão semelhante ao verificado nas concentrações de PM₁₀ e NO, em especial na estação de Fornelo do Monte (FORN). Durante o primeiro período, verifica-se que a concentração de NO₂ nas estações é baixa, em especial na estação de Fornelo do Monte (FORN), onde esta possui a concentração média mais baixa, para o primeiro período, em relação as restantes estações, com um valor de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A concentração média de NO₂ entre todas as estações é baixa, com uma média de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, entre todas as estações.

No segundo período é novamente visível que a estação de Fornelo do Monte (FORN) toma valores muito elevados. Tal como verificado na concentração média de NO, a estação de Fornelo do Monte (FORN) apresenta um pico de concentração muito elevado durante o período no qual ocorre o primeiro incêndio, em que os valores registados, de dia 20 a dia 22, apresentam um aumento repentino de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente. A partir de dia 22 as restantes estações têm vindo a demonstrar um aumento tendencial e consistente da concentração média de NO₂, fazendo com que a estação de Fornelo do Monte (FORN), volte a ter valores bastante inferiores às restantes a partir desse dia. Contudo, a dia 30, a estação de Fornelo do Monte (FORN) volta a ser influenciada por este conjunto de ocorrências, registando um aumento da concentração de NO₂ a dia 30, com um valor médio de 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante o segundo período a concentração média de NO₂ entre todas as estações analisadas foi de 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Relativamente ao terceiro período, verifica-se que as estações de Terena (TER) e Fundão (FUN) demonstram subidas na concentração média nos dias 5 e 6, respetivamente. As restantes estações têm as suas concentrações médias estabilizadas em relação ao período anterior, contudo verifica-se uma subida da concentração média de NO₂ entre todas as estações, relativamente aos períodos anteriores, em que é registada uma média de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ao contrário do que foi observado nos poluentes anteriores, a concentração média de NO₂ tem tendência a aumentar ao longo do período de análise de 31 dias. É também de notar que a estação de Fornelo do Monte (FORN) apresenta valores fora do habitual a dia 9 e dia 10 de setembro.

5.2.8. Análise da trajetória e dispersão de partículas

Recorrendo ao modelo *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT) disponibilizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA), foi possível utilizar a ferramenta de trajetória arquivada de modo a observar o comportamento do transporte de poluentes ao longo das ocorrências dos incêndios florestais do Caramulo. A utilização deste recurso, conferiu a este caso de estudo, um conhecimento complementar acerca de quais foram as regiões mais influenciadas por este episódio. Deste modo, a Figura 5.22 demonstra o trajeto efetuado pelos poluentes a cada 12 horas, a partir das 00h00 de dia 22 de agosto, com duração até dia 2 de setembro, data de encerramento da ocorrência.

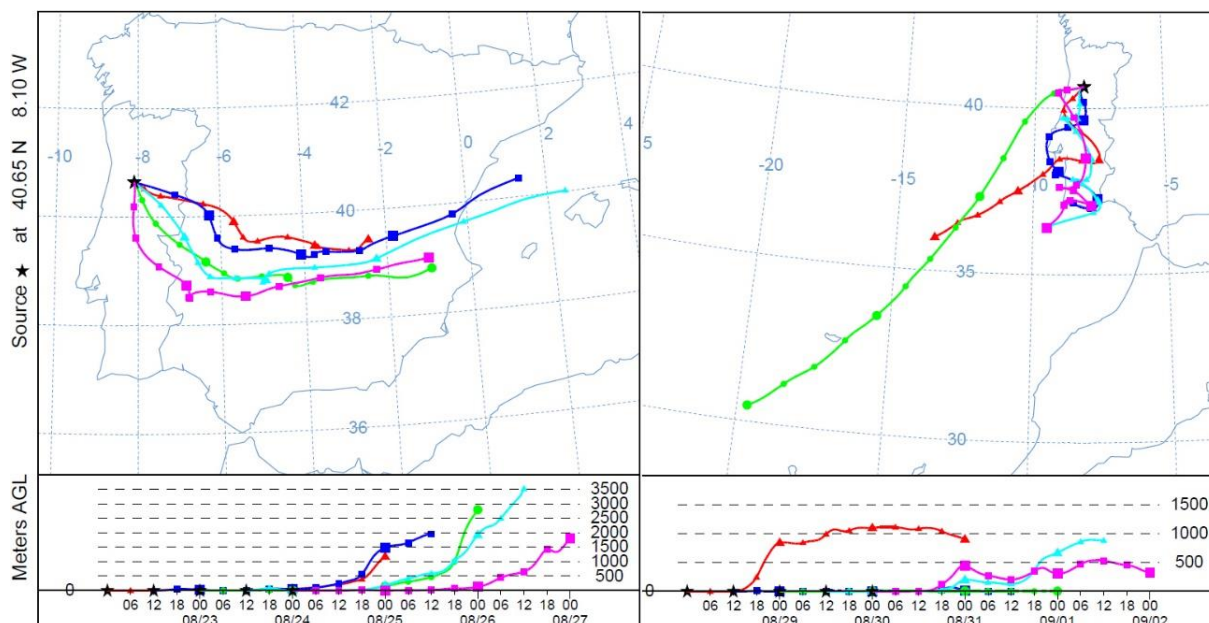


Figura 5.22 - Modelo de trajetória de partículas de dia 22 de agosto a dia 2 de setembro

É então possível apurar que os poluentes originados através do conjunto de incêndios florestais do Caramulo, num primeiro período de dia 22 a 27 de agosto, foram influenciados por um vento de Oeste, efetuando o transporte de partículas para o interior de Espanha. Verifica-se que a dia 23, a estação do Fundão (FUN), que se encontra no trajeto das partículas, regista um valor de concentração média de PM_{10} superior às restantes (a exceção de Fornelo do Monte), registando $38 \mu g/m^3$ de PM_{10} .

Contudo, a partir de dia 28 de agosto, dá-se uma inversão desse mesmo vento levando os poluentes em direção ao litoral, sendo possível observar que as estações de Montemor-o-Velho (MOV) e Ervedeira (ERV), ambas registaram concentrações médias de PM_{10} elevadas, com MOV a registar $47 \mu g/m^3$ de PM_{10} , no dia 30, e Ervedeira (ERV) a registar $49 \mu g/m^3$ de PM_{10} , no dia 31.

De forma a entender tais picos de concentração das partículas PM_{10} , recorreu-se novamente ao HYSPLIT. Desta vez foi utilizado o modelo de dispersão de forma a entender qual foi a área abrangida pela pluma derivada do incêndio florestal (Figura 5.23). O modelo foi elaborado para dia 30 as 00h, com uma duração e período médio de dispersão de 24 horas, com a camada superior a 2000 metros de altura do nível do solo.

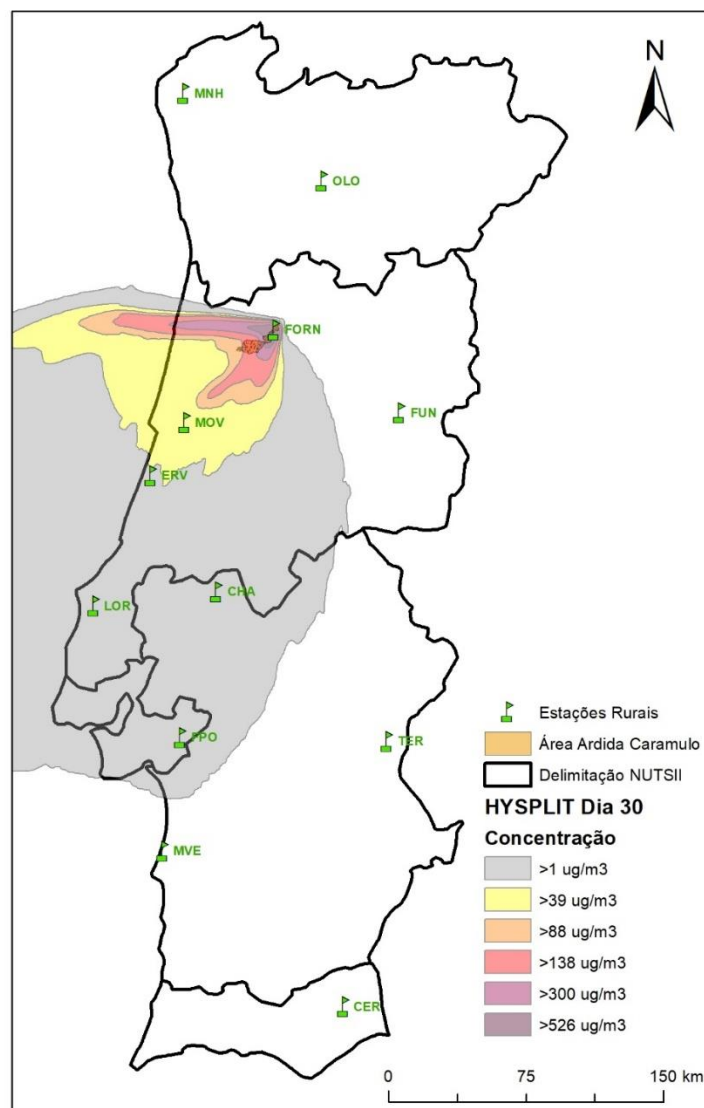


Figura 5.23 - Área de dispersão da pluma do incêndio no dia 30 de agosto

Os resultados do modelo foram então importados para o ArcGIS, de forma a ser possível estabelecer um cruzamento entre a área de dispersão e as estações de monitorização. Desse modo, foi possível certificar quais foram as estações de monitorização mais influenciadas. Neste caso, observa-se que as estações de Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV) e Ervedeira (ERV) são as mais influenciadas pelo incêndio florestal Caramulo, como visto anteriormente na análise da concentração média de Partículas PM_{10} .

É de notar, que apesar da distância, as estações da Lourinhã (LOR), Chamusca (CHA) e Fernando Pó (FPO) encontram-se abrangidas pela área de dispersão das partículas. A dia 30, as estações Lourinhã (LOR), Chamusca (CHA) e Fernando Pó (FPO), registaram uma concentração média de PM_{10} de $44 \mu g/m^3$, $44 \mu g/m^3$ e $38 \mu g/m^3$, respetivamente. Verifica-se que as restantes estações analisadas que não se encontram abrangidas pela área de dispersão do incêndio não possuem valores elevados em relação a concentração média de PM_{10} . A estação Fornelo do Monte (FORN), devido à sua proximidade com a área de origem das partículas, regista sempre valores exorbitantemente elevados no período de dia 20 a 26 de agosto e no período de dia 28 de agosto a 1 de setembro.

5.3. Incêndio florestal de Pedrogão Grande – Junho de 2017

5.3.1. Descrição da ocorrência

O incêndio florestal de Pedrogão Grande decorreu num período entre os dias 17 e 24 de junho de 2017. Esta ocorrência, afetou diversas freguesias dos concelhos de Pedrogão Grande, Figueiró dos Vinhos, Alvaiázere, Penela e Góis. Segundo o relatório provisório extraordinário de incêndios florestais de 19 de junho de 2017 do ICNF, foram consumidos um total de 53 992 ha (ICNF, 2017a). A Figura 5.24 demonstra a magnitude da área ardida, assim como os pontos de FRP captados pelo sensor MODIS.

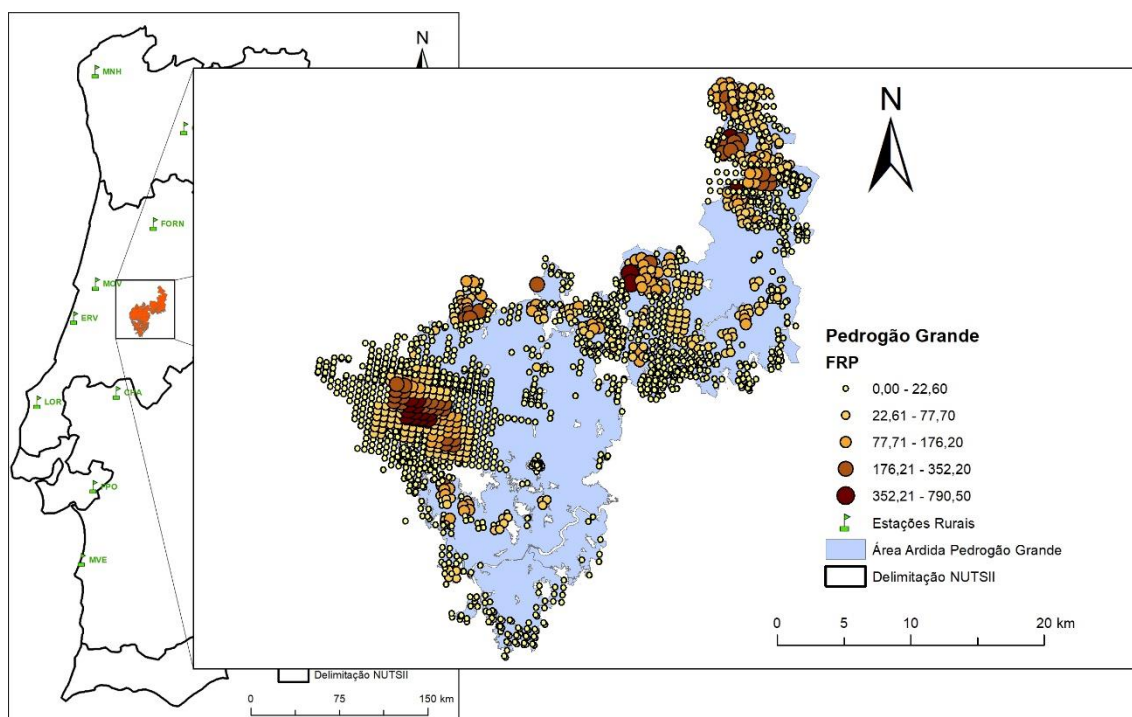


Figura 5.24 - Localização, área ardida e FRP do incêndio florestal de Pedrogão Grande

O grande incêndio florestal de Pedrogão Grande teve origem em Escalos Fundeiros, no concelho de Pedrogão Grande, pelas 14h30 do dia 17 de junho de 2017, ficando caracterizado através da sua rápida propagação, consequente área ardida e número de vítimas mortais. Este mega incêndio possuiu cinco pontos de ignição distintos, em cinco concelhos diferentes. Todas estas ocorrências sucederam-se no mesmo dia e nas imediações umas das outras, vindo a constituir uma área ardida contígua, formando desta forma o conjunto de incêndios florestais que ficou conhecido como o grande incêndio florestal de Pedrogão Grande. A ordem de acontecimentos dá-se através da deflagração da primeira ocorrência em Escalos Fundeiros, com hora de alerta às 14h43, tendo durado até dia 22 de junho, afetando uma área de 24 145 ha. A segunda ocorrência dá-se às 14h48, em Fonte Limpa, no concelho de Góis e durou até dia 22 de junho, afetando uma área de 16 119 ha. A terceira ocorrência, situada em Moninhos no concelho de Figueiró dos Vinhos, deu-se às 15h41 e durou somente umas horas, sendo extinta às 18h38 do mesmo dia, a qual consumiu uma área de 7 ha. A quarta ocorrência deu-se às 20h41, em Cabeças no concelho de Alvaiázere, e durou até dia 20, afetando uma área de 638 ha. Por fim, a quinta

ocorrência, deu-se às 21h15, em Pardieiros no concelho de Penela, a qual consumiu 4 400 ha e durou até dia 21 de junho (Viegas, 2017).

5.3.2. Caracterização meteorológica e climatológica

As condições verificadas durante o mês de junho de 2017 foram extremas para alguns parâmetros meteorológicos. De dia 16 a dia 22, deu-se a ocorrência de uma situação anticiclónica, quase estacionária, sobre a península ibérica, com uma massa de ar muito quente e seca, o que deu origem temperaturas muito elevadas. Tais condições instáveis deram origem a trovoadas, em especial no interior da região Centro e Alto Alentejo, o que, em conjugação com fenómenos extremos de vento ajudaram na propagação do incêndio de Pedrogão Grande (IPMA, 2017a).

Em termos climatológicos, o mês de junho foi extremamente quente e seco, tendo sido, a seguir aos anos de 2004 e 2005, o 3º mês de junho mais quente desde 1931, em que valor médio da temperatura média do ar foi de 22.34 °C, com uma excedência de 2.92 °C acima do valor normal 1971-2000, depois de 2004 (23.25 °C) e 2005 (22.81 °C). A Figura 5.25 representa a distribuição espacial dos valores médios da temperatura média do ar e as anomalias da temperatura média do ar, e, como é possível observar, durante o mês de julho a temperatura média do ar na região afetada pelo incêndio de Pedrogão Grande, possui uma média de aproximadamente 24°C, com uma diferença de cerca de +2.5°C em relação ao valor normal (IPMA, 2017b).

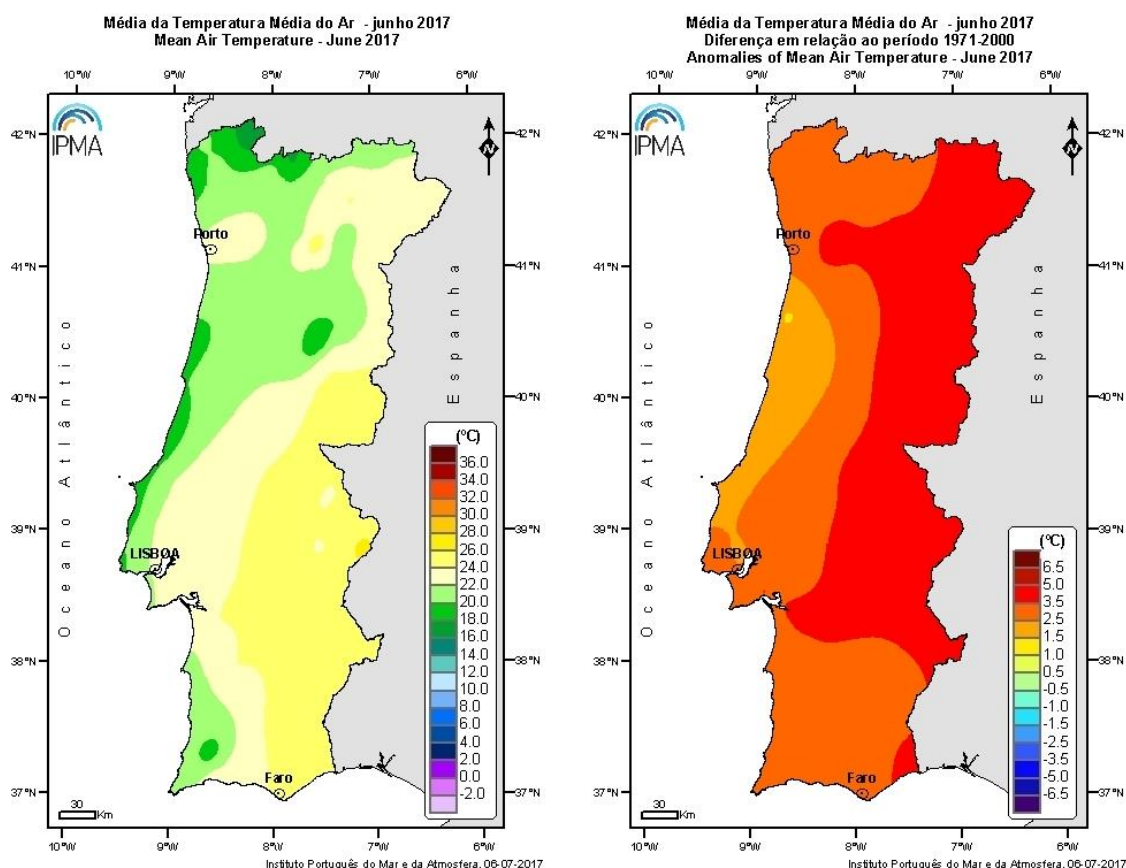


Figura 5.25 - Distribuição espacial dos valores médios da temperatura média do ar e anomalias da temperatura média do ar (em relação ao período 1971-2000), no mês de junho. (IPMA, 2017)

Durante o período em que decorreu o incêndio de Pedrogão Grande, mais de 90% das estações registaram uma temperatura máxima acima dos 30°C, em termos de temperatura mínima, 50% das estações registaram um valor igual ou superior a 20°C. No dia em que o incêndio deflagrou, dia 17, foi quando se registou a temperatura mais elevada do mês, em que 85% das estações registaram uma temperatura máxima superior a 35°C (IPMA, 2017b).

Em termos de precipitação, o mês de julho foi classificado como muito seco, sendo que o valor de precipitação no território corresponde a cerca de 30% do valor médio. Estabelecendo uma comparação com o período de 1971-2000, o valor médio de precipitação total foi inferior a 50% em quase todo o território e inferior a 25% em muitos locais do interior Centro e sul e no litoral da região Centro. Em termos de situação de seca, de acordo com o índice meteorológico de seca PDSI, no final do mês de junho, a situação de seca meteorológica abrange quase todo o território de Portugal Continental (IPMA, 2017a).

Ainda segundo o IPMA, no relatório mensal de Apoio meteorológico – Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais de junho de 2017 (IPMA, 2017a), foi elaborada uma análise comparativa do índice meteorológico de risco de incêndio (FWI) para o mês de junho de 2017, em que o valor médio mensal do FWI obteve, aproximadamente, um valor de 40, tendo sido em conjunto com o ano de 2005, para este mês, os anos com maior valor médio de FWI.

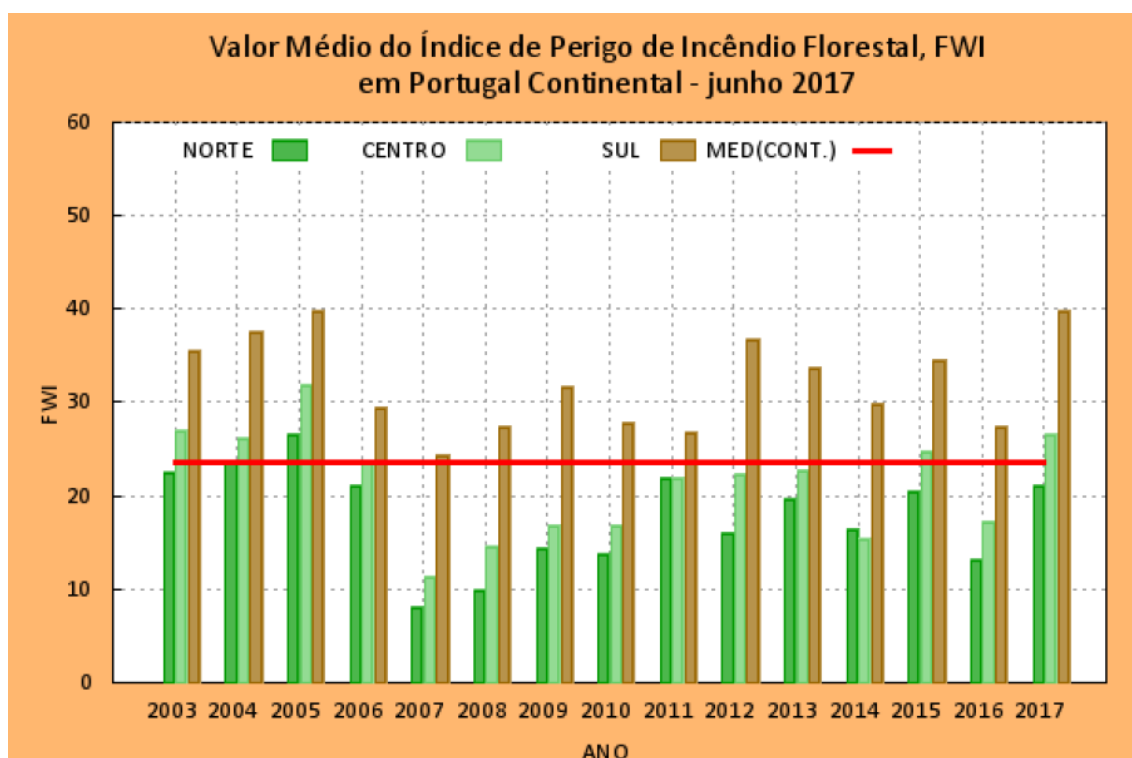


Figura 5.26 - FWI médio nas regiões: Norte, Centro e Sul (Fonte: IPMA, 2017a)

Em relação à evolução do FWI ao longo do mês de junho, foi possível observar que o valor máximo de FWI foi atingido no dia 17 de junho, dia do início da ocorrência de Pedrogão Grande, e, mantem-se superiores à média durante os 5 dias seguintes, como possível observar na Figura 5.27

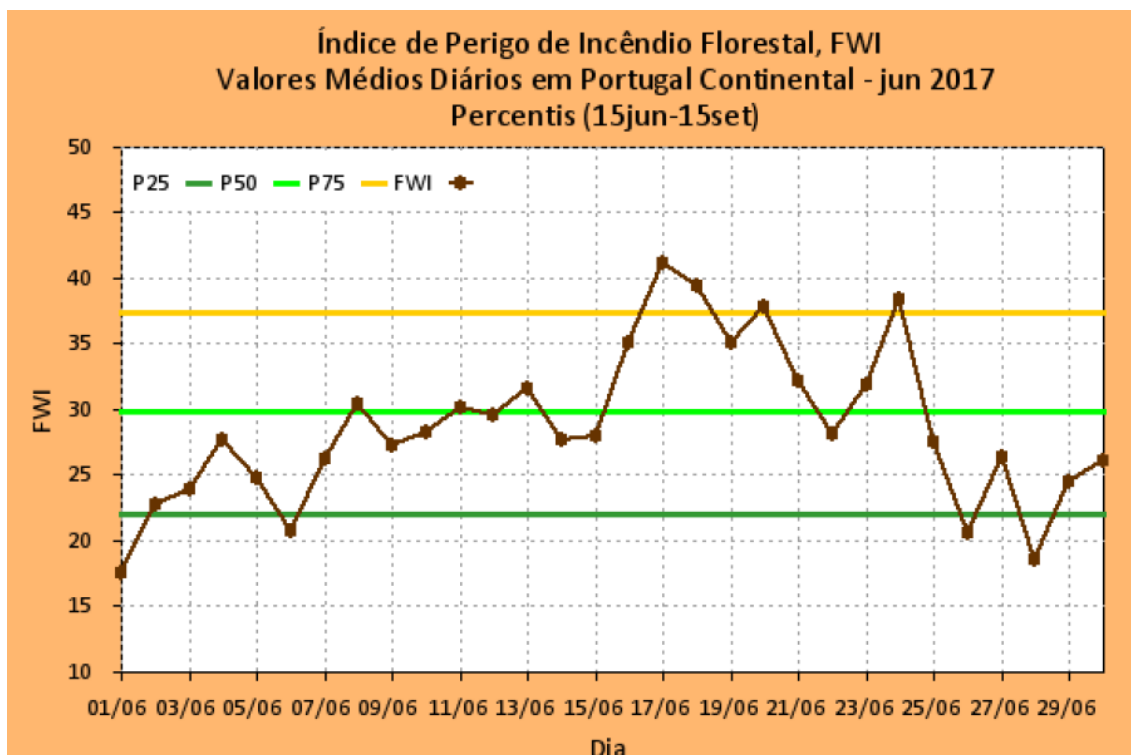


Figura 5.27 - Evolução diária do FWI médio em junho de 2017 em Portugal Continental e comparação com os percentis. (Fonte: IPMA, 2017a)

5.3.3. Análise da qualidade do ar

De forma a entender os impactos do incêndio de Pedrogão Grande na qualidade do ar em Portugal Continental, foram elaboradas análises à concentração de poluentes derivados de incêndios florestais, nomeadamente à concentração de partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2,5}$), ozono, e dióxido de azoto. Contudo é de referir que os dados utilizados para a análise destes poluentes, são de estações rurais de fundo da rede de qualidade do ar Qualar e não se encontram à presente data validados.

Estabeleceu-se, à semelhança dos casos de estudo anteriores, um período de análise de 30 dias, tendo sido dividido em três períodos. O primeiro período demonstra a situação da qualidade do ar antes do incêndio, tendo início a 5 de julho. O segundo período é referente à própria ocorrência do incêndio, de 17 a 24 de julho, demonstrando a qualidade do ar durante a ocorrência. Por fim, o terceiro período tem início a 25 de junho, e tem como objetivo demonstrar a qualidade do ar após o incêndio florestal.

Foram utilizados os registos de FRP de forma a observar o desenvolvimento do incêndio ao longo dos 30 dias em estudo, tendo sido calculado o somatório de FRP para cada dia. No início do primeiro período o sensor MODIS detetou algumas ocorrências, contudo os valores das mesmas não demonstram grande magnitude, a partir de dia 12 verifica-se um ligeiro aumento nos valores do somatório de FRP, culminando a dia 16 com valores na ordem dos 2 133 MW. No início do segundo período verifica-se a dia 18, após o deflagrar do incêndio de Pedrogão Grande, um enorme aumento dos valores de FRP para os 36 815 MW, seguido por uma diminuição da sua intensidade no seguinte dia, onde foram registados 3 720 MW. No dia 20, é verificado um novo aumento de radiação emitida,

tendo sido registados 17 075 MW. A partir de dia 21 a intensidade do incêndio diminui até a sua extinção no final do período, a dia 24. No terceiro período não são registados valores muito elevados de FRP.

5.3.4. Partículas em suspensão

Para a análise da concentração média de PM_{10} (Figura 5.28), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR), Monte Velho (MVE) e Terena (TER).

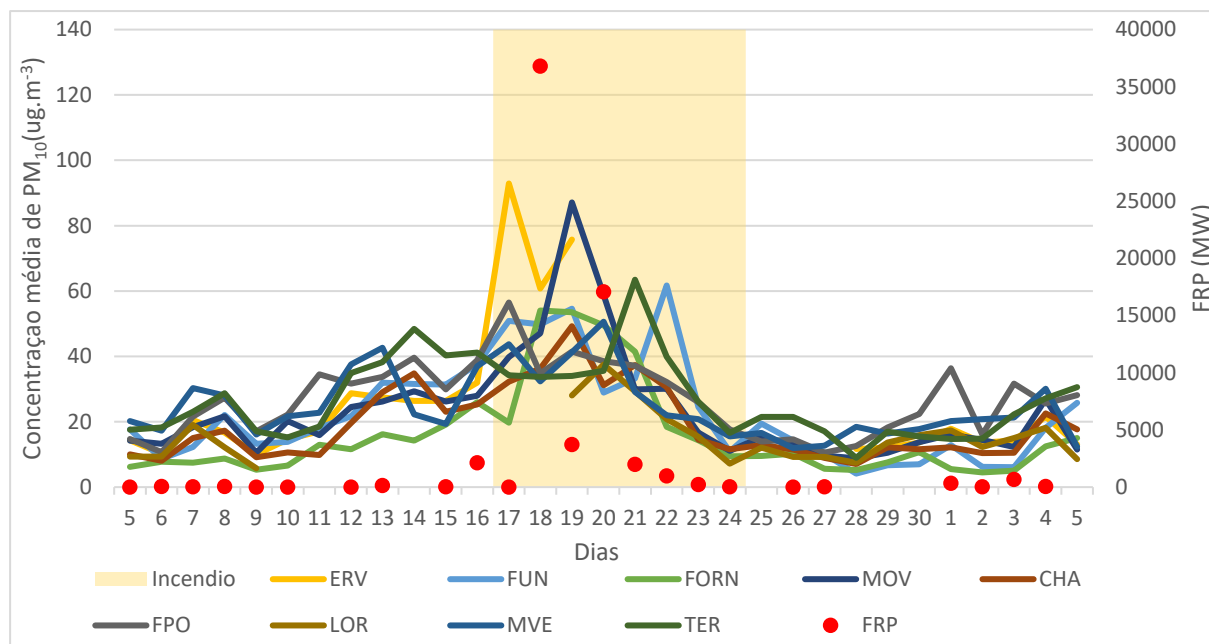


Figura 5.28 - Concentração média de PM_{10} durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande

No primeiro período verifica-se a existência de um pequeno aumento da concentração média de partículas na maioria das estações nos dias 7 e 8 de junho, com um máximo de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ detetado na estação de Monte Velho (MVE). Após estes dias verifica-se um aumento gradual das concentrações médias de PM_{10} que continuam até ao próximo período. O valor máximo detetado durante este período foi de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação de Terena (TER). A concentração média de PM_{10} entre todas as estações analisadas neste período foi de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

O segundo período é caracterizado através dos picos muito acentuados durante os primeiros três dias da ocorrência, em especial nas estações da Ervedeira (ERV) e Montemor-o-Velho (MOV), as quais registam picos de $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respetivamente. Após estes três dias, a concentração média de PM_{10} no geral demonstra uma tendência para diminuir, contudo, nos dias 21 e 22 as estações do Fundão (FUN) e Terena (TER) registam picos de concentração média de PM_{10} , com valores de $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respetivamente. Durante o segundo período a concentração média de PM_{10} entre todas as estações analisadas foi de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por fim, o terceiro período demonstra uma concentração média de partículas estável, cujos máximos de valores observados não excedem os valores legislados. Contudo, foi possível verificar que durante

o período de dia 30 de junho a 5 de julho se observa um novo aumento da concentração de partículas. Em que, é atingido um valor máximo de concentração para este período na estação Fernando Pó (FPO), com valores na ordem dos $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A concentração média registada entre todas as estações analisadas para o terceiro período foi de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio possuiu uma larga influência no aumento da concentração média de PM_{10} .

Para a análise da concentração média de $\text{PM}_{2,5}$ (Figura 5.29), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Fundão (FUN), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR), e Terena (TER).

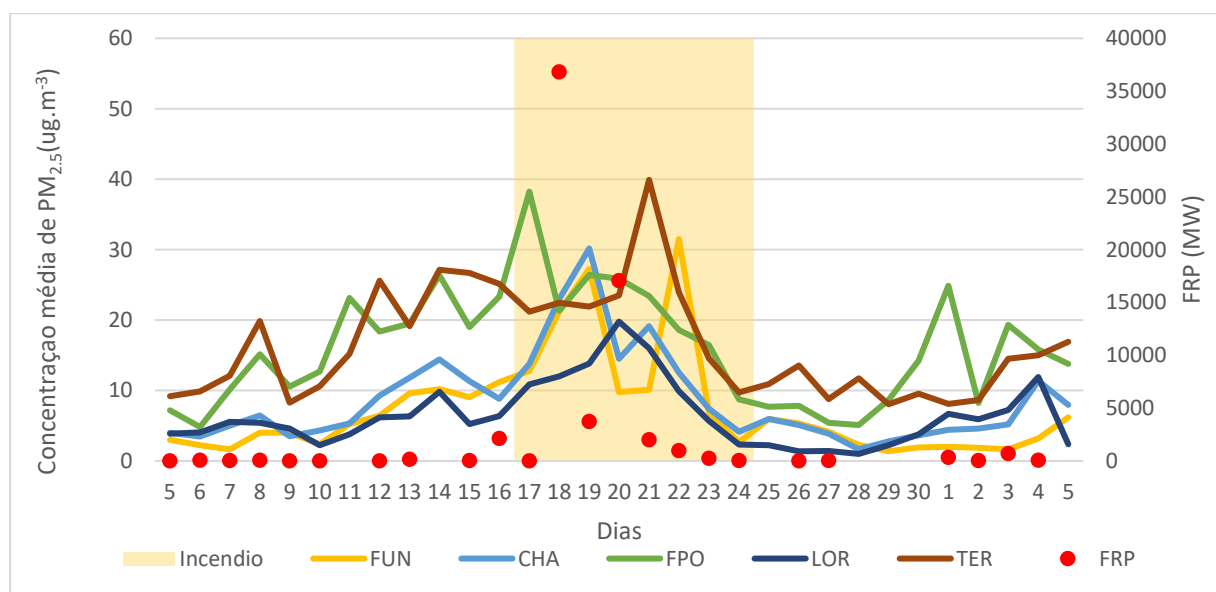


Figura 5.29 - Concentração média de $\text{PM}_{2,5}$ durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande

Em termos de concentração média de $\text{PM}_{2,5}$, verifica-se que existem semelhanças tendenciais em relação a concentração média de PM_{10} . No primeiro período verifica-se que as estações de Fernando Pó (FPO) e Terena (TER) possuem valores superiores as restantes estações, existindo um pico de concentrações a dia 8, em que Terena (TER) regista uma concentração média de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e Fernando Pó (FPO) regista $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir de dia 10 a concentração de $\text{PM}_{2,5}$ aumenta gradualmente em todas as estações até ao final deste período. A concentração média de $\text{PM}_{2,5}$ entre todas as estações analisadas neste período foi de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Com o deflagrar do incêndio florestal de Pedrogão Grande verifica-se um aumento repentino das estações do Fundão (FUN) e Chamusca (CHA), devido à proximidade com a área afetada. A estação do Fundão (FUN) obteve dois picos de concentração média de $\text{PM}_{2,5}$, o primeiro a dia 19 e o segundo a dia 22, com $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente. A estação da Chamusca (CHA) registou o seu máximo durante este período também a dia 19, com uma concentração média diária de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Observa-se também que a estação da Lourinhã (LOR) possuiu uma evolução consistente ao longo deste período, sem grandes oscilações, atingindo o seu valor máximo a dia 20, com uma concentração média de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante o segundo período a concentração média de $\text{PM}_{2,5}$ entre todas as estações analisadas foi de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por fim, no terceiro período, denota-se que a concentração média das partículas diminuiu imenso, em especial nas estações mais próximas do local da ocorrência (Fundão, Chamusca e Lourinhã). Contudo, é possível observar que a partir de dia 30 verifica-se um novo aumento dos níveis de concentração média para tais estações. A concentração média registada entre todas as estações analisadas para o terceiro período foi de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de $\text{PM}_{2,5}$.

A Tabela 5.3 demonstra a análise do rácio entre as $\text{PM}_{2,5}$ e as PM_{10} em que foram utilizadas as estações Fundão (FUN), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO), Lourinhã (LOR), e Terena (TER). Foi calculada a média do rácio $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ para dois períodos, um primeiro período fora da incidência do incêndio e um segundo período que representa os dias em que o incêndio de Pedrogão Grande se encontrou ativo.

Tabela 5.3 - Rácio de $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ durante o período de análise relativo ao incêndio florestal de Pedrogão Grande

Região	Centro	LVT			Alentejo
Estação	FUN	CHA	FPO	LOR	TER
Rácio fora do incêndio	0,27	0,41	0,56	0,36	0,59
Rácio durante o incêndio	0,36	0,49	0,62	0,46	0,62
Variação	↗31%	↗21%	↗10%	↗28%	↗5%

O rácio calculado encontrou-se dentro dos valores esperados, visto que aumenta nas cinco estações analisadas para o período da duração do incêndio florestal. Esse aumento tem um maior efeito nas estações mais próximas ao incêndio de Pedrogão Grande, isto é, nas estações Fundão (FUN), Lourinhã (LOR) e Chamusca (CHA), nas quais se verificou uma variação de 31%, 28% e 21% (respetivamente) face ao período fora da incidência do incêndio.

5.3.5. Ozono

Para a análise da concentração média de O_3 (Figura 5.30), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Douro Norte (OLO), Ervedeira (ERV), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA), Fernando Pó (FPO) e Lourinhã (LOR).

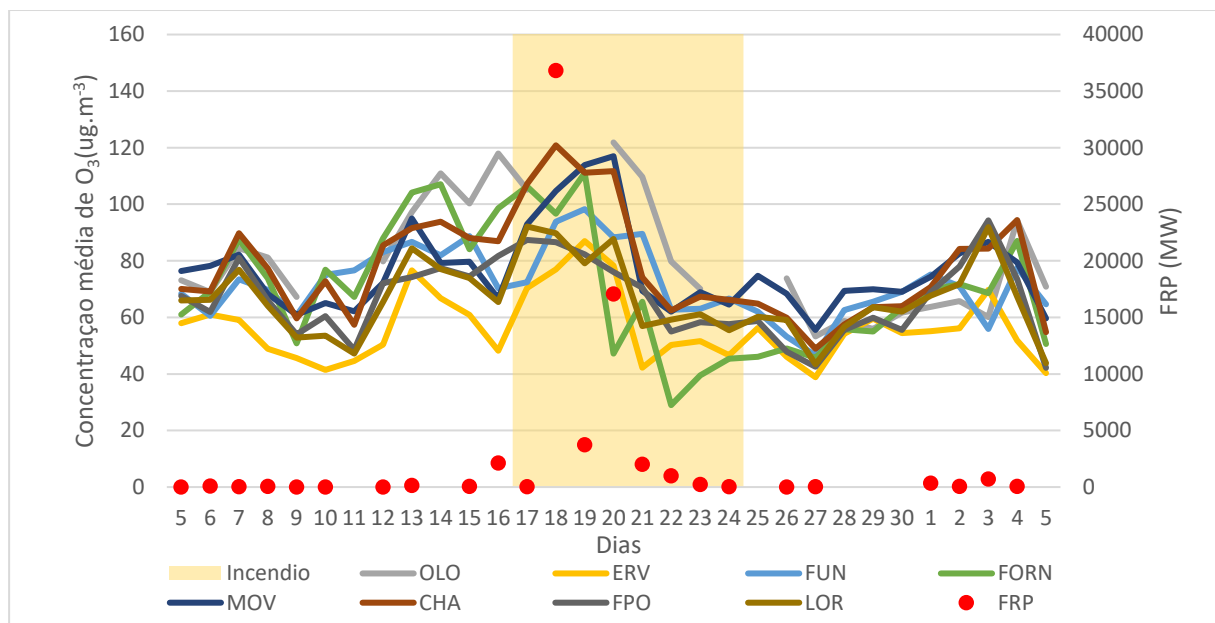


Figura 5.30 - Concentração média de O_3 durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande

Em termos de concentração média de O_3 , verifica-se que todas as estações seguem uma tendência muito semelhante. No primeiro período, no dia 7, é registado um pico de concentração média de O_3 atingindo um valor aproximado de $80 \mu g/m^3$ entre todas as estações analisadas, entrando em declínio nos dias seguintes. A partir de dia 11, quase todas as estações demonstram obter um aumento brusco dos níveis de O_3 até ao final deste período. A concentração média de O_3 entre todas as estações analisadas neste período foi de $73 \mu g/m^3$.

Durante o segundo período é possível observar que em quase todas as estações existem grandes oscilações nos valores de O_3 , atingindo, na estação de Montemor-o-Velho (MOV), um valor máximo de $122 \mu g/m^3$ no dia 18 e um mínimo de $29 \mu g/m^3$, na estação de Fornelo do Monte (FORN), no dia 22. A partir de dia 20 verifica-se que a concentração média de O_3 diminui bastante entre todas as estações. Durante o segundo período a concentração média de O_3 entre todas as estações analisadas foi de $78 \mu g/m^3$.

Por fim, no terceiro período existe uma estabilização da concentração média de O_3 , em que todas as estações registam valores muito semelhantes e voltam a seguir a mesma tendência, em que tais indícios de comportamento podem ser observados a dia 27, onde todas as estações registam uma depressão da concentração média de O_3 , e posterior aumento das concentrações até ao final dos 31 dias de estudo. Durante este período a estação do Douro Norte (OLO) registou o nível de concentração média de O_3 mais elevado, com um valor de $94 \mu g/m^3$. A concentração média registada entre todas as

estações para o terceiro período foi de $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou a variação da concentração média de O_3 .

5.3.6. Dióxido de azoto

Para a análise da concentração média de NO_2 (Figura 5.31), devido à localização do incêndio, foram omitidas as estações da região do Algarve. As estações que cumprem os requisitos de eficiência são: Douro Norte (OLO), Fundão (FUN), Fornelo do Monte (FORN), Montemor-o-Velho (MOV), Chamusca (CHA) e Fernando Pó (FPO).

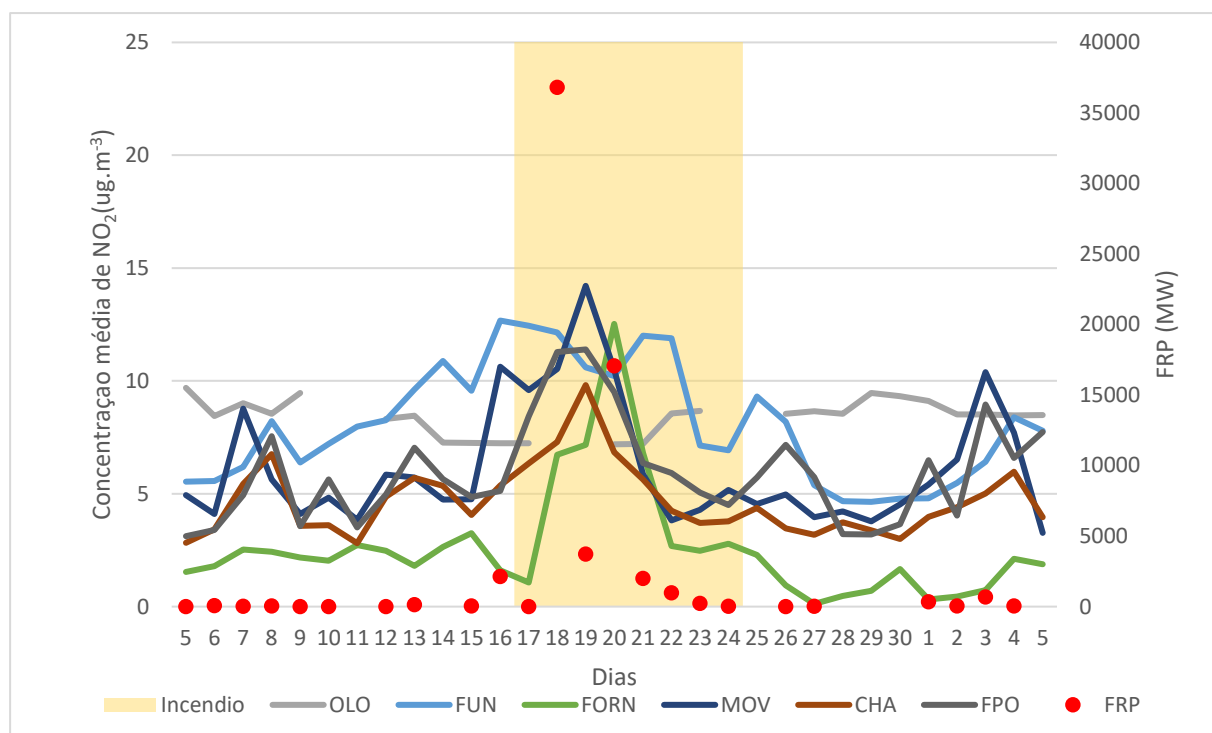


Figura 5.31 - Concentração média de NO_2 durante o incêndio florestal de Pedrogão Grande

Por fim, analisando as concentrações de NO_2 , é possível observar que este poluente segue um padrão semelhante ao verificado nas concentrações de PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$, contudo, os valores entre as estações são muito díspares. Verifica-se que existe pequeno pico de valores no dia 8, seguido por uma depressão e um aumento, em média, dos valores até dia 16. O ponto máximo da concentração média de NO_2 é atingido a dia 16, na estação do Fundão (FUN), com um valor de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A concentração média de NO_2 entre todas as estações analisadas neste período foi de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

No segundo período, com o deflagrar do incêndio, os valores da concentração média de NO_2 aumentam subitamente, em especial na estação de Fornelo do Monte (FORN) que passa de um valor mínimo de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a dia 17, para um máximo de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 20. Com a diminuição da intensidade do incêndio de Pedrogão Grande, verifica-se uma súbita descida da concentração entre todas as estações a dia 22. Durante o segundo período a concentração média de NO_2 entre todas as estações analisadas foi de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Relativamente ao terceiro período, foi registada uma diminuição da concentração de NO_2 , sendo que as estações tomam valores de concentração média semelhantes aos observados durante o primeiro período. A concentração média registada entre todas as estações para o terceiro período foi de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, verificando-se deste modo que o incêndio influenciou o aumento da concentração média de NO_2 .

5.3.7. Análise da trajetória e dispersão de partículas

Recorrendo ao modelo *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT) disponibilizado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), foi possível utilizar a ferramenta de trajetória arquivada de modo a observar o comportamento do transporte de poluentes ao longo da ocorrência do incêndio florestal de Pedrogão Grande. A utilização deste recurso, conferiu a este caso de estudo, um conhecimento complementar acerca de quais foram as regiões mais influenciadas por este episódio. Deste modo, a Figura 5.32 demonstra o trajeto efetuado pelos poluentes a cada 12 horas, a partir das 15h00 de dia 17 de junho, com duração até dia 24 de junho, data de encerramento da ocorrência.

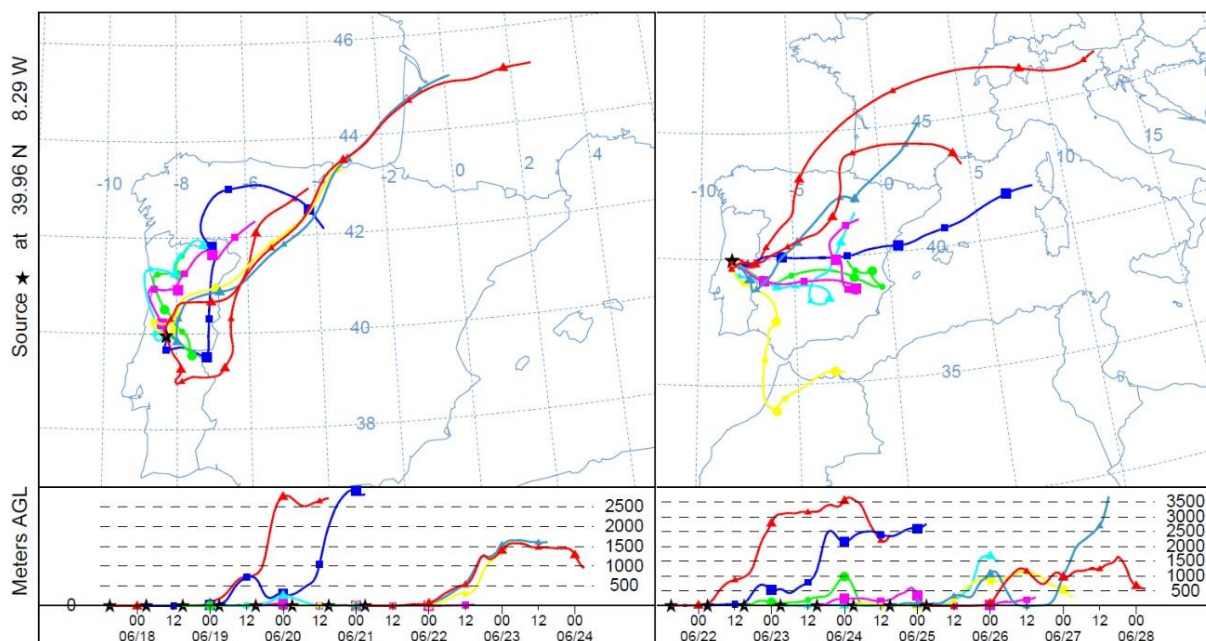


Figura 5.32 - Modelo de trajetória de partículas de dia 17 a dia 24 de junho

É então possível apurar que os poluentes originados através do grande incêndio florestal de Pedrogão Grande num primeiro período de dia 17 a 21 de agosto, foram inicialmente influenciados por um vento com direção Sul (dia 17) que traçou a trajetória das partículas para a região do Alentejo. A dia 19, o vento tomou uma direção oposta e marcou o trajeto das partículas para a região Centro e Norte litoral. Nos dias 17 e 19, as estações de Ervedeira (ERV) e Montemor-o-Velho (MOV), registam um valor de concentração média de PM_{10} superior às restantes registando valores de concentração na ordem dos $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} e $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , respetivamente. A partir das 15h de dia 20, verifica-se que as trajetórias das partículas foram influenciadas por um vento com direção Nordeste, efetuando o transporte de partículas para o Norte de Espanha.

No segundo período do modelo de trajetórias, de dia 21 a 24 de agosto, verificou-se que a trajetória das partículas toma uma direção diferente, mais direcionada para o interior de Espanha. Durante este período, as estações de Terena (TER) e Fundão (FUN), ambas registaram concentrações médias de PM_{10} elevadas, com Terena (TER) a registar $63 \mu g/m^3$ de PM_{10} , no dia 21, e Fundão (FUN) a registar $62 \mu g/m^3$ de PM_{10} , no dia 22.

De forma a entender tais picos de concentração das partículas PM_{10} , recorreu-se novamente ao HYSPLIT. Desta vez, foi utilizado o modelo de dispersão de forma a entender qual foi a área abrangida pela pluma derivada do incêndio florestal. Os modelos foram elaborados para os dias 17, 19, 21 e 22, as 00h, com uma duração e período médio de dispersão de 24 horas, com a camada superior a 2000 metros de altura do nível do solo. Por fim, como possível observar na Figura 5.33 e Figura 5.34 os resultados dos modelos foram então importados para o ArcGIS de forma a ser possível estabelecer um cruzamento entre a área de dispersão e as estações de monitorização. Desse modo, foi possível certificar quais foram as estações de monitorização mais influenciadas.

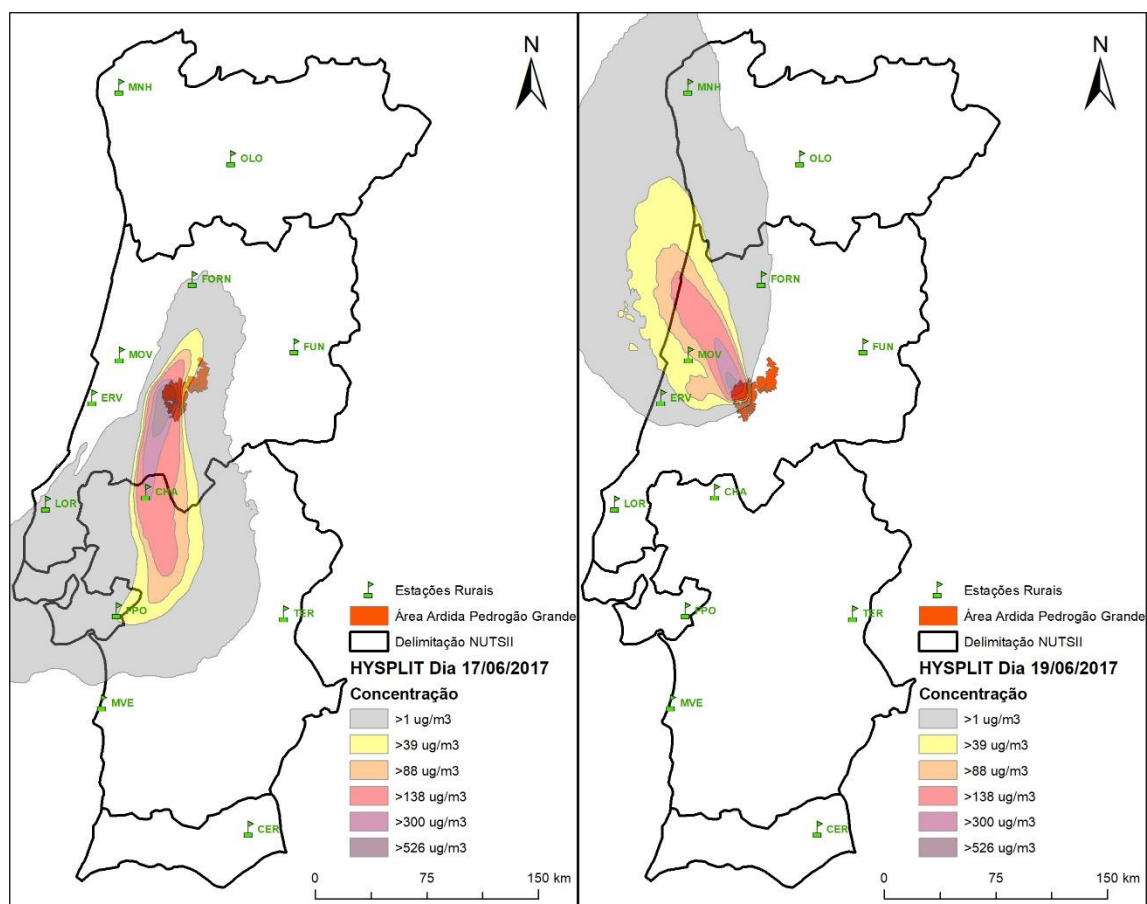


Figura 5.33 - Área de dispersão da pluma do incêndio nos dias 17 e 19 de junho

No dia 17 as partículas são dispersadas para sul, nomeadamente em direção às regiões do Alentejo e Lisboa e Vale do Tejo, ao qual podemos verificar primeiramente que as estações que estão dentro da área de influência, são as estações da Chamusca (CHA), Lourinhã (LOR) e Fernando Pó (FPO). Contudo, apesar de a estação da Ervedeira (ERV) não se encontrar dentro da área de influência calculada através do modelo, esta, possuiu a maior concentração média de PM_{10} registada para dia 17,

tal como referido anteriormente. Já as estações dentro da área de influência, a estação da Chamusca (CHA) registou uma concentração média de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a estação da Lourinhã (LOR) não possui registos para dia 17 e a estação de Fernando Pó (FPO) registou um valor $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} .

A dia 19, a área de dispersão encontra-se voltada para Noroeste, afetando maioritariamente o litoral das regiões Centro e Norte, ao qual é possível verificar que as estações de monitorização que se encontram dentro da área de influência são as estações Ervedeira (ERV), Montemor-o-Velho (MOV) e Fornelo do Monte (FORN) (não existindo dados disponíveis para a estação de Minho-Lima). A estação de Montemor-o-Velho (MOV), como referido anteriormente, registou o maior valor de concentração média de PM_{10} para este dia, com um valor de $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , seguida pela estação da Ervedeira (ERV) com uma concentração média diária registada de $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . É possível afirmar deste modo que tais valores elevados se devem tanto à direção da área de dispersão derivada da ocorrência, bem como à proximidade de ambas as estações.

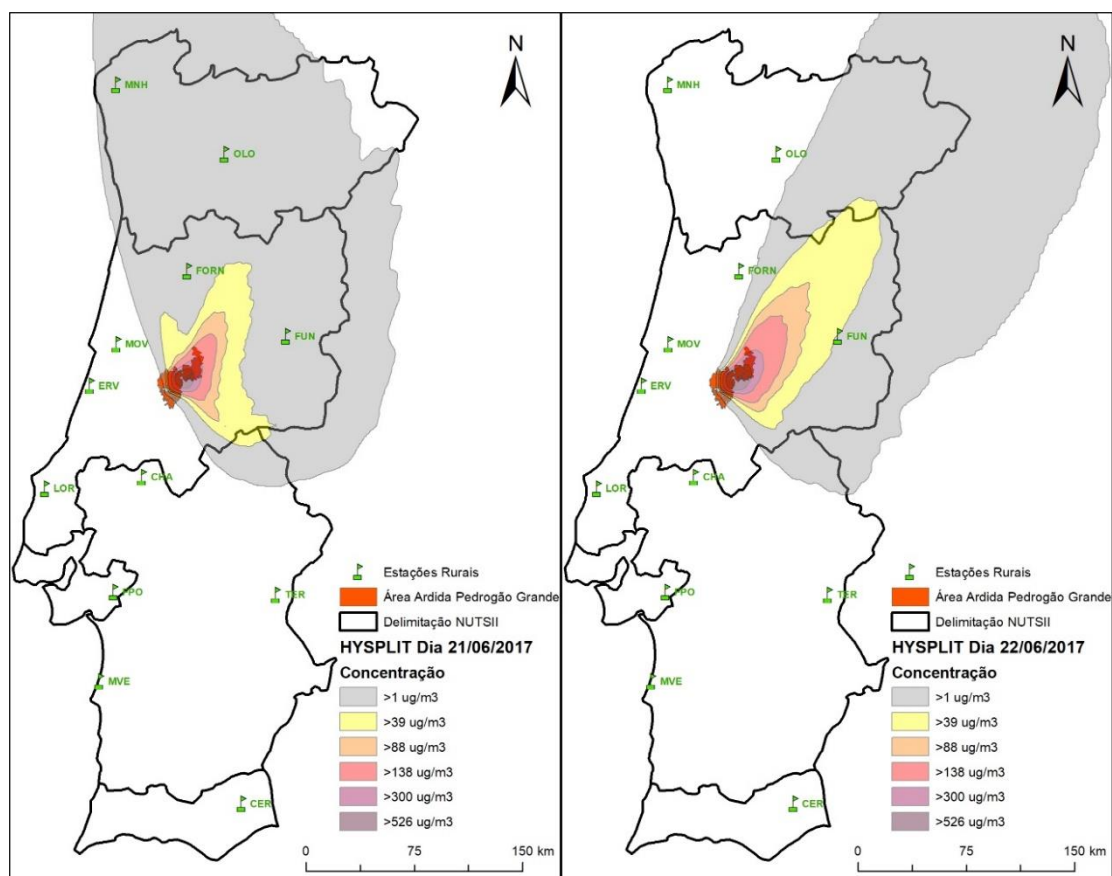


Figura 5.34 - Área de dispersão da pluma do incêndio nos dias 21 e 22 de junho

No dia 21, as partículas são dispersadas para Norte, mais especificamente em direção ao interior da região Centro e afetando, quase na totalidade, a região Norte. O cruzamento entre os dados obtidos pelo modelo HYSPLIT e o mapa com as estações de monitorização, é possível identificar que as estações sob a área de dispersão do incêndio de Pedrogão Grande são as estações de Fornelo do Monte (FORN), Fundão (FUN), Douro Norte (OLO) e Minho-Lima (MNH), contudo, não foi possível obter dados de concentração de partículas PM_{10} para as estações Douro Norte (OLO) e Minho-Lima

(MNH). Apesar de não se encontrar inserida dentro da área de influência calculada através do modelo, a estação de Terena (TER), possuiu a maior concentração média de PM_{10} registada para dia 21, com um valor de $64 \mu g/m^3$. As estações de Fornelo do Monte (FORN) e Fundão (FUN), registaram concentrações médias de $42 \mu g/m^3$ e $33 \mu g/m^3$ de PM_{10} , respetivamente. A dia 22, a área de dispersão toma uma tendência para se afunilar, passando a influenciar somente o interior da região Norte, e, continuando a afetar o interior da região Centro. A estação do Fundão (FUN) é a única que se encontra influenciada pela área de dispersão das partículas, ao que, conseqüentemente, é a estação com o maior registo de concentração média neste dia, com um valor registado de $62 \mu g/m^3$ de PM_{10} .

6. Conclusões

Os efeitos e consequências dos incêndios florestais são avassaladores, tanto em termos socioeconómicos como socioambientais. Os meios de comunicação transmitem habitualmente os impactes mais notórios e diretos, isto é, a destruição de fauna, flora, povoações e perdas de vidas humanas; no entanto, a importância dos impactes a nível da qualidade do ar e seus efeitos na saúde humana (principalmente ao nível respiratório e cardiovascular) possuem uma relevância inferior aos restantes. No decorrer desta dissertação, constatou-se que as ocorrências de incêndios no interior de Portugal Continental, apesar de em menor quantidade em relação ao litoral, causam uma maior extensão de área ardida. Tal facto, revela a dificuldade e a falta de meios disponíveis para monitorizar e manter uma boa gestão dos matos e florestas nacionais. De tal modo, reforça a importância do investimento na prevenção dos incêndios e não só nos meios para os combater.

A influência dos incêndios florestais na qualidade do ar e respetivas implicações na saúde humana, bem como, nos ecossistemas, é relevante. Apesar de vários estudos terem já demonstrado o impacto de incêndios na qualidade do ar e de realçarem a sua contribuição para a excedência da concentração média diária de partículas em suspensão, não existe um método exaustivo para a identificação e a quantificação do impacto dos episódios de incêndios. Deste modo, dado que a média de área ardida tem vindo a aumentar de década em década, esta dissertação visou na realização da análise de um dos poluentes que está mais associado aos incêndios florestais, as partículas em suspensão (PM_{10} e $PM_{2,5}$), e demonstrar a relação existente entre ambos. O principal objetivo desta dissertação foi alcançado, na medida em que foi possível avaliar a influência dos incêndios florestais na qualidade do ar.

A análise estatística efetuada permitiu examinar a correlação entre os incêndios florestais e a qualidade do ar, demonstrando que o número de ocorrências e quantidade de área ardida influenciam a concentração média diária de PM_{10} . Tal influência traduz-se através de um aumento médio $3 \mu g/m^3$ face à não influência de incêndios. Os valores resultantes do cálculo das correlações foram bastante significativos, especialmente nas estações das regiões de Lisboa e Vale do Tejo e Norte onde se obteve uma correlação média de 0,82 e 0,74 (respetivamente) entre as ocorrências e a concentração média diária de PM_{10} durante os meses de agosto. Durante este período, os valores extremos de correlação verificaram-se nas estações de ARC (região de Lisboa e Vale do Tejo), registando o valor máximo de 0,86, e MAL (região do Algarve) com um valor mínimo de 0,25. O interior Norte e Centro de Portugal Continental representaram 59% do total de área ardida durante o período de 2013 a 2015. Deste modo, os impactes na qualidade do ar causados por estas ocorrências foram mais difíceis de detetar dado haver poucas estações de monitorização nestes locais.

A necessidade de justificar as excedências ao Valor Limite legislado nas estações de monitorização é um importante dado de reporte europeu de informação sobre qualidade do ar. No âmbito deste trabalho, pretendia-se definir um método que generalizasse o cálculo para o desconto de excedências com origem nos incêndios florestais, à semelhança do método existente para as poeiras do Norte de África, aprovado a nível europeu e aplicado anualmente na Península Ibérica. Com o presente estudo foi

possível identificar a quantidade de excedências ocorridas em dias com incêndios, comparando-as com a ocorrência de episódios de poeiras provenientes dos desertos africanos e de excedências relativas a outras fontes. Após desconto deste montante de excedência, verificou-se que para o período de 2013 a 2015, os incêndios foram responsáveis por cerca de 22% das excedências ao Valor Limite de PM₁₀, tendo apresentado uma contribuição que variou de 0%, em Horto (Braga) e Lourinhã (região de Lisboa e Vale do Tejo), a 63% em Terena (Alentejo Interior). Por outro lado, a construção e aplicação de uma metodologia que quantificasse o acréscimo da contribuição dos incêndios florestais para as concentrações de partículas não foi passível de aprofundar, uma vez que os resultados obtidos foram dispares, isto é, a ocorrência de incêndios e sua influência na qualidade do ar foi muito localizada, dependendo das condições locais de dispersão da pluma, variando de caso para caso e mesmo ao longo do período em que decorre cada incêndio, sendo de difícil extrapolação de forma sistemática para toda a região.

Foi necessário selecionar um conjunto de casos de estudo relacionados com incêndios de grande dimensão de forma a examinar em maior detalhe a influência desses mesmos incêndios na qualidade do ar. O uso das ferramentas de trajetória e dispersão conferiu tal nível de detalhe esperado, justificando e estabelecendo uma ponte de ligação entre o aumento das concentrações e os incêndios observados.

As estações de monitorização da qualidade do ar existentes não são projetadas tendo em conta uma distribuição uniforme, tendo antes uma distribuição prioritária obedecendo a requisitos de densidade populacional, no sentido de fornecer dados relativos à exposição da saúde humana à poluição atmosférica. Uma vez que a maioria da área ardida se situa nas regiões Norte e Centro interior torna-se essencial a disponibilidade de dados de estações de monitorização do tipo rural de fundo, existindo apenas três estações desta tipologia, dificultando o cálculo da correlação entre área ardida e concentrações de partículas.

Como limitações do estudo identificaram-se os casos de reduzida eficiência na disponibilidade de dados de poluentes de algumas das estações de monitorização de qualidade do ar, não permitindo efetuar uma análise quantitativa robusta. Ambas as estações rurais de fundo da região Norte (Lamas de Olo e Senhora do Minho) possuíam eficiências muito abaixo dos 85% para os anos de 2013, 2014 e 2015, impossibilitando a sua utilização para a análise pretendida nesta região. É então necessário um investimento na melhoria da rede das estações de monitorização da qualidade do ar existentes, ou na implementação de novas estações de forma a realizar uma melhor cobertura das regiões mais afetadas pelos incêndios florestais de grande dimensão. Tal medida poderia potencializar o desenvolvimento de estudos mais detalhados em relação ao impacto dos incêndios florestais na qualidade do ar.

No decorrer da análise aos casos de estudo é ainda de referir que existiu alguma dificuldade na identificação de determinados incêndios florestais. Os dados disponibilizados pelo ICNF como listagem de incêndios em *Excel* e área ardida em *shapefile* não são exatamente coincidentes. Nem são, de algum modo, fornecidas as datas de ocorrência para parte dos incêndios que estão listados na *shapefile*.

Como desenvolvimentos futuros sugere-se o alargamento da série de anos em estudo, procurando-se aplicar alguns dos aspetos metodológicos aplicados no presente estudo, nomeadamente pesquisar os dias de excedência de PM_{10} ao Valor Limite (de $50 \mu g/m^3$), verificar a existência de incêndios próximos a essas datas e utilizar as ferramentas que se revelaram relevantes para o efeito, tais como, correlações entre concentrações, parâmetros meteorológicos e modelos de trajetórias. Os dados de FRP revelaram-se úteis, dando informação consistente com os dados do ICNF de área ardida; no entanto serão talvez de maior relevância como indicador da quantidade e tipo de biomassa ardida.

7. Referências

AFN - Autoridade Nacional Florestal. (2009). *Floresta, Muito Mais que Árvores - Manual de Educação Ambiental Para a Floresta*. AFN - Autoridade Florestal Nacional.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2013). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2013 em Portugal*. Retirado de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316&sub3ref=383>

Agência Portuguesa do Ambiente. (2014). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2014 em Portugal*. Retirado de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316&sub3ref=383>

Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). *Identificação e Avaliação de Eventos Naturais no ano de 2015 em Portugal*. Retirado de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=316&sub3ref=383>

Amiridis, V., Zerefos, C., Kazadzis, S., Gerasopoulos, E., Eleftheratos, K., Vrekoussis, M., Mihalopoulos, N. (2012). Impact of the 2009 Attica wild fires on the air quality in urban Athens. *Atmospheric Environment*, 46, 536–544. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.07.056>

AQEG. (2005). *Particulate Matter in the United Kingdom*. Retirado de <http://www.defra.gov.uk/environment/quality/air/airquality/publications/particulate-matter/index.htm>

Beighley, M., & Hyde, A. C. (2018). *Gestão dos Incêndios Florestais em Portugal numa Nova Era Avaliação dos Riscos de Incêndio, Recursos e Reformas*. Retirado de http://mediaserver2.rr.pt/NEWRR/2018_Portugal_Wildfire_Management_in_a_New_Era_Portuguese2433b6fe.pdf

Belgian Interregional Environment Agency. (2018). What is PM10 and PM2.5? Retirado de <http://www.irceline.be/en/documentation/faq/what-is-pm10-and-pm2.5>

Bell-Young, L. (2018). The Chemistry of Fire. Retirado de <https://www.reagent.co.uk/chemistry-of-fire/>

Bowman, D. M. J. S., & Johnston, F. H. (2005). Wildfire smoke, fire management, and human health. *EcoHealth*, 2(1), 76–80. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0149-8>

Campos, A. C. de. (2017). Floresta: Economia e Sociedade. In *Economia da Floresta e Ordenamento do Território* (pp. 9–22).

Carvalho, A., Monteiro, A., Flannigan, M., Solman, S., Miranda, A. I., & Borrego, C. (2011). Forest fires in a changing climate and their impacts on air quality. *Atmospheric Environment*, 45(31), 5545–5553. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.010>

Chuvieco, E., San-miguel-ayanz, J., Pereira, J. M. C., Boca, R., Strobl, P., Kucera, J., & Pekkarinen, A. (2009). *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. (Prof. Dr. Emilio Chuvieco, Ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01754-4>

Comissão Europeia. (2002). Guidance on the Annexes to Decision 97 / 101 / EC on Exchange of Information as revised by Decision 2001 / 752 / EC for the European Commission , DG Environment by, 1–71.

Conselho da União Europeia. (2011). Commission staff working paper - Establishing guidelines for demonstration and subtraction of exceedances attributable to natural sources under the Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe.

Conselho da União Europeia. (2018). *Member States' and European Commission's Common Understanding of the Commission Implementing Decision laying down rules for Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council as regards the reciprocal exchange of information*.

Eötvös Loránd University. (2018). Tropospheric ozone. Retirado de <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/AtmosphericChemistry/ch08s02.html>

EPA. (2016). Wildfire Smoke: A Guide for Public Health Officials, (May). Retirado de https://www3.epa.gov/airnow/wildfire_may2016.pdf

EPA. (2018). Particulate Matter (PM) Basics. Retirado de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#effects>

Faustini, A., Alessandrini, E. R., Pey, J., Perez, N., Samoli, E., Querol, X., Pascal, M. (2015). Short-term effects of particulate matter on mortality during forest fires in Southern Europe: Results of the MED-PARTICLES project. *Occupational and Environmental Medicine*, 72(5), 323–329. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102459>

Gonçalves, F. (2013). *Avaliação do ozono troposférico em Portugal - Análise Integradora*. Universidade de Aveiro. Retirado de <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/11388/1/7722.pdf>

Hodzic, A., Madronich, S., Bonn, B., Massie, S., Menut, L., & Wiedinmyer, C. (2007). Wildfire particulate matter in Europe during summer 2003: Meso-scale modeling of smoke emissions, transport and radiative effects. In *Atmospheric Chemistry and Physics* (Vol. 7, pp. 4043–4064). <https://doi.org/10.5194/acp-7-4043-2007>

ICNF. (2013a). IFN6 – Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental em 1995, 2005 e 2010. 6º *Inventário Florestal Nacional*, 34. Retirado de <http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn/resource/ficheiros/ifn/ifn6-res-prelimv1-1>

ICNF. (2013b). *Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal continental – 2013*. Retirado de <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/rel-if/areas-ardidas>

ICNF. (2013c). *Relatório dos grandes incêndios florestais na Serra do Caramulo*. Retirado de <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/raa/resource/ficheiros/rel-tec/gif-caram13>

ICNF. (2014). *Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal continental – 2014*. Retirado de <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/rel-if/areas-ardidas>

ICNF. (2017a). 10º Relatório Provisório de Incêndios Florestais, 3–19. Retirado de <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/relat/rel-if/2017>

ICNF. (2017b). Informação Geográfica. Retirado de <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/info-geo>

IPMA. (2013a). *Apoio Meteorológico Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - Relatório Mensal Agosto 2013*. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2013b). *Apoio Meteorológico Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - Relatório Mensal Julho 2013*. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2013c). Boletim Climatológico Anual 2013. *Instituto Português Do Mar E Da Atmosfera*, 2–5. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2013d). Boletim Climatológico Mensal - Agosto 2013, 0–10. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2013e). Boletim Climatológico Mensal Portugal Continental - Julho de 2013, 0–11. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2015a). Boletim Climatológico Anual 2014. *Instituto Português Do Mar E Da Atmosfera*, 1–7. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2015b). Boletim Climatológico Anual 2015. *Instituto Português Do Mar E Da Atmosfera*, 2015(Figura 1), 1–9. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2017a). *Apoio Meteorológico Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais - Relatório Junho 2017*. Retirado de <http://www.ipma.pt>

IPMA. (2017b). Boletim Climatológico Mensal Portugal Continental - Junho de 2017. Retirado de <http://www.ipma.pt>

Jaffe, D. A., & Wigder, N. L. (2012). Ozone production from wildfires: A critical review. *Atmospheric Environment*, 51, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.063>

Leite, F. C. F., Gonçalves, A. J. B., & Lourenço, L. (2014). Grandes incêndios florestais na década de 60 do século XX, em Portugal Continental. *Territorium*, 21(2012), 189–195. Retirado de <http://hdl.handle.net/10316.2/35130>

Lodgejr, J. (1996). Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. *Environmental Science and Pollution Research*, 3(91), 23–23. <https://doi.org/10.1007/BF02986808>

Lourenço, L. (2004). *Riscos Naturais e Protecção do Ambiente*. Coimbra.

Martins, V. (2007). *Impacto dos Incêndios Florestais na Qualidade do Ar*. Universidade de Aveiro.

Miranda, A. I. (2004). An integrated numerical system to estimate air quality effects of forest fires. *International Journal of Wildland Fire*, 13(Miranda 1999), 217–226.

Miranda, A. I., Borrego, C., Martins, H., Martins, V., H., J., Amorim, Carvalho, A. (2006). Forest Fire Emissions and Air Pollution in Southern Europe. In *Incêndios Florestais em Portugal Caracterização, Impactes e Prevenção* (pp. 171–187).

Miranda, A. I., Monteiro, A., Martins, V., Carvallio, A., Schaap, M., Builtjes, P., & Borrego, C. L. B.-1743835. (2008). Forest fires impact on air quality over Portugal. *Nato Science for Peace and Security Series C - Environmental Security*, 190–198. Retirado de <http://www.springerlink.com/index/G1H2122721T0JVP3.pdf>

PEFC Portugal. (2013). Floresta Portuguesa. Retirado a 17 de fevereiro de 2018, de <http://www.pefc.pt/certificacao-gfs/introducao/floresta-portuguesa>

Pereira, J. M. C., Carreiras, J. M. B., Silva, J. M. N., & J.Vasconcelos, M. (2006). Alguns Conceitos Básicos sobre os Fogos Rurais em Portugal. In *Incêndios Florestais em Portugal Caracterização, Impactes e Prevenção* (pp. 133–162).

Pio, C. A., Silva, T. P. da, & Cardoso, P. J. M. (2006). Emissões e Impacte na Atmosfera. In *Incêndios Florestais em Portugal Caracterização, Impactes e Prevenção* (pp. 165–198).

Pyne, S. J. (2006). Fogo no Jardim: Compreensão do Contexto dos Incêndios em Portugal. In *Incêndios florestais em Portugal: caracterização, impactes e prevenção* (pp. 115–132).

Querol, X., Alastuey, A., Pey, J., Escudero, M., Castillo, S., Orío, A., de la Rosa, J. (2013). *Methodology for the identification of natural episodes in PM10 and PM2,5, and justification with regards to the exceedances of the PM10 daily limit value*. Barcelona, Spain.

Rebelo, F. (2003). *Riscos naturais e acção antrópica. Estudos e reflexões* (2ª edição). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0467-1>

Rowell, A. & P. F. M. (2000). Global Review of Forest Fires. UICN/WWF, 28. Retirado de <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2000-047.pdf>

Sameth, J., Dominici, F., Curriero, F., Coursac, I., & Zeger, S. (2000). Fine particulate air pollution and mortality in 20 u.s. cities, 1987–1994. *The New England Journal of Medicine*, 343(24), 949–955. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa012295>

Schmuck, G., San-Miguel-Ayanz, J., Camia, A., Houston Durrant, T., Boca, R., Libertá, G., Kisa, A. (2014). *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2013* (Vol. 26791). <https://doi.org/10.2788/99870>

Verde, J., & Zêzere, J. L. (2007). Avaliação da Perigosidade de Incêndio Florestal. *VI Congresso Da Geografia Portuguesa*, 23.

Viegas, D. X. (2006). Modelação do Comportamento do Fogo. In *Incêndios Florestais em Portugal Caracterização, Impactes e Prevenção* (pp. 287–326).

Viegas, D. X. (2017). *O complexo de incêndios de Pedrógão Grande e concelhos limítrofes, iniciado a 17 de junho de 2017*. Retirado de <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=3bb9773b-59fb-4099-9de5-a22fdcad1e3b>

Witham, C., & Manning, A. (2007). Impacts of Russian biomass burning on UK air quality. *Atmospheric Environment*, 41(37), 8075–8090. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.06.058>